



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ARTTU LÖFGRÉN  
KAUPAN ENERGIAINTENSIIVISTEN JÄRJESTELMIEN  
HANKINTAVERTAILU ELINKAARIKUSTANNUSLASKENNAN  
AVULLA  
Diplomityö

Tarkastaja: Lehtori Risto Mikkonen  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
Tieto- ja sähkötekniikan  
tiedekuntaneuvoston kokouksessa  
14.1.2015

## TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Sähkötekniikan koulutusohjelma

**LÖFGRÉN, ARTTU:** Kaupan energiasäästöjen järjestelmien hankintavertailu elinkaarikustannuslaskennan avulla.

Diplomityö, 52 sivua, 3 liitesivua

Helmikuu 2015

Pääaine: Vaihtoehtoiset sähköenergiateknologiat

Tarkastaja: Lehtori Risto Mikkonen

Avainsanat: Aurinkosähkö, elinkaari, energia, ilmanvaihto, investointi, kiinteistö, kustannuslaskenta, kylmäjärjestelmä, lämmitys, lämmönjako, valaistus

Market- ja liikenneasemakiinteistöt kuluttavat suuren määrän sekä lämpö- että sähköenergiaa. Uusien sekä uudistusta tarvitsevien kiinteistöjen teknisten järjestelmien vertailu ja valinta perustuu eri asiantuntijoiden ja järjestelmätoimittajien kokemuksiin ja tietoon kulloisestakin järjestelmästä. Tämän työn tavoitteena on helpottaa hankintojen vertailua ja tehdä niiden valinnasta perustellumpaa sekä helpommin lähestyttävää yksinkertaisen elinkaarilaskennan avulla. Työssä pyritään yksinkertaistamaan teknisesti monimutkaisten järjestelmien käsittelyä niin, että vertailun ymmärtäminen ei vaadi asiantuntijatasoa tietämystä kyseisistä järjestelmistä.

Käsiteltävien järjestelmien valinnan perusteena käytetään niiden osuuksia kiinteistöjen kokonaisenergiankulutuksesta. Lämmitysjärjestelmä osineen, kylmäjärjestelmä sekä valaistus ovat suurimmat yksittäiset energiankuluttajat. Elinkaarikustannuksiin huomioidaan energiakustannusten lisäksi investointi- ja ylläpitokustannukset. Laskentataulukon avulla on mahdollista vertailla sähkö- ja lämpöenergianhinnan sekä rahoituskulujen muutosten vaikutuksia elinkaarikustannusten muodostumiseen.

Työn teoriaosiossa käydään läpi eri järjestelmien valinnan perusteet, kustannusten muodostuminen kussakin tapauksessa sekä esitellään laskennan tuloksia. Työn laskennallinen osio käsittää Excel-laskentataulukon, jonka avulla elinkaarilaskenta toteutetaan.

Tutkimustulokset tukevat varsin hyvin nykyistä tietämystä erilaisten investointien kannattavuudesta, mutta herättävät myös kysymyksiä ympäristöystävällisen ajattelutavan ja panostuksen kannattavuudesta. Täysin aukoton vertailu ei kaikkien järjestelmien investointi- ja energiakustannusten välillä ole mahdollista jokaisessa kiinteistöryhmissä, jolloin laskenta perustuu mahdollisuuksien mukaan muiden kiinteistöjen vastaavien järjestelmien tietoihin. Supermarkettien järjestelmiin kohdistuva laskenta ja sen tulokset ovat ensiarvoisessa asemassa, koska kiinteistöryhmän otos tutkimukseen on kattavin eri tietokantojen osalta. On siis huomioitava, että yksinkertaistettu teoreettinen laskenta ei ole aina siirrettävissä käytäntöön, vaan se vaatii syvempää tutustumista sekä käytännön hyötyjen ja haasteiden huomioimista.

## ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's degree program in Electrical Engineering

**LÖFGREN, ARTTU:** Energy-intensive Systems Acquisition of Reference with Life-Cycle Costings in Markets.

Master of Science Thesis, 52 pages, 3 appendix pages

February 2015

Major: Alternative Electric energy technologies

Examiner: Lecturer Risto Mikkonen

Keywords: Solar photovoltaic, lifecycle, energy, ventilation, investment, property, cost accounting, refrigeration system, heating, heat distribution, lighting

Markets and service stations spend a large amount of heat and electrical energy. A selection of energy systems for new and decorated properties is normally made by professionals and system suppliers. The focus of this master thesis is to make comparison easier to understand with the simple life cycle calculator. Thus investments are better informed and easier to understand without professional knowledge.

Selection of researched systems is based on energy consumption profiles and the biggest energy consumers are heating system, refrigeration system and lightning. Life cycle calculation contains also investment and maintenance costs. Calculator enables to compare and see the effects of change in energy and financing costs.

The theoretical part of the research presents arguments for the selection of different systems, consisting of costs and presents results of calculation. Computational part of the thesis includes the Excel spreadsheet whereby the life-cycle calculation is performed.

Research supports quite well current knowledge of profitability of the investments, but it also raises questions about profitability of the environmentally friendly investments. Fully comprehensive comparison between all property groups in investments and energy consumption is not possible, in which case calculation is based on knowledge of another property. Supermarkets have the most comprehensive database so the results of supermarkets are most significant. It is important to take into account that simplified theoretical calculation is not always usable in practise, but it needs a deeper knowledge and understanding of practical benefits and challenges.

## ALKUSANAT

Tämän diplomityön tarkoituksena oli kehittää elinkaarikustannus laskentaohjelmaa, jonka avulla pyritään helpottamaan hankintavertailua sekä nopeuttamaan investointiprosessia. Työ tehtiin loppuvuoden 2014 ja alkuvuoden 2015 aikana Pirkanmaan Osuuskaupan (POK) sekä Suomen Osuuskauppojen Keskuskunnan (SOK) toimeksiantona. Haluan kiittää työnantajia saamastani ohjauksesta, mielenkiintoisesta aiheesta sekä rahoituksesta.

Haluan myös osoittaa kiitokseni työn tarkastaja lehtori Risto Mikkoselle sekä ohjauksesta vastanneille Toni Suloselle ja Antti Kokkoselle.

Kauan kaivatun ja odotetun työn valmistuminen ei olisi ollut mahdollista ilman useita tukijoita, joista erityisesti haluan kiittää Laskupiirin tyttöjä. Myös lukuisten ystävien tuki on pitkän prosessin aikana tullut tarpeeseen useaan otteeseen. Kiitos myös perheelleni kärsivällisyydestä ja tuesta pitkällä koulutaipaleella.

Tampereella 17.2.2015

Arttu Löfgrén

# SISÄLLYS

|  |     |
|--|-----|
| Abstract .....   | iii |
| Termit ja niiden määritelmät .....                       | vii |
| Johdanto .....   | 1   |
| 1.1 Tutkimuskohde, rajaukset ja tavoitteet .....         | 1   |
| 1.2 Tutkimuksen rakenne ja sisältö .....                 | 2   |
| 2 Toimialan ja toimijan esittely .....                   | 3   |
| 2.1 Marketin ja liikennemyymälän energiankulutus .....   | 3   |
| 2.2 Kiinteistöryhmien energiankulutus .....              | 6   |
| 2.2.1 Hypermarket .....                                  | 6   |
| 2.2.2 Supermarket .....                                  | 7   |
| 2.2.3 Lähikauppa .....                                   | 8   |
| 2.2.4 Liikenneasema .....                                | 8   |
| 3 Elinkaarilaskenta .....                                | 10  |
| 3.1 Elinkaarilaskennan lähtökohdat .....                 | 10  |
| 3.2 Suunnitteluratkaisujen valinta .....                 | 11  |
| 3.2.1 Valintaan vaikuttavia tekijöitä .....              | 11  |
| 3.2.2 Muutoksiin varautuminen .....                      | 12  |
| 3.3 Kannattavuustarkastelu .....                         | 13  |
| 3.3.1 Laskentamenetelmä .....                            | 13  |
| 3.3.2 Laskennassa käytettävät lähtöarvot .....           | 15  |
| 4 Liiketilän järjestelmien investointikustannukset ..... | 16  |
| 4.1 Lämmitysjärjestelmä .....                            | 16  |
| 4.2 Lämmönjako .....                                     | 18  |
| 4.3 Ilmanvaihto .....                                    | 19  |
| 4.4 Kylmäjärjestelmä .....                               | 20  |
| 4.5 Valaistus .....                                      | 22  |
| 4.6 Aurinkosähkö .....                                   | 22  |
| 5 Energiatalous ja elinkaarikustannukset .....           | 24  |
| 5.1 Lämmitysjärjestelmä .....                            | 24  |
| 5.2 Lämmönjako .....                                     | 25  |
| 5.3 Ilmanvaihto .....                                    | 26  |
| 5.4 Kylmäjärjestelmä .....                               | 27  |
| 5.5 Valaistus .....                                      | 28  |
| 5.6 Aurinkosähkö .....                                   | 29  |
| 6 Investointilaskenta .....                              | 30  |
| 6.1 Lämmitysjärjestelmä .....                            | 31  |
| 6.2 Lämmönjako .....                                     | 34  |
| 6.3 Ilmanvaihto .....                                    | 37  |
| 6.4 Kylmäjärjestelmä .....                               | 38  |
| 6.5 Valaistus .....                                      | 42  |

|                        |    |
|------------------------|----|
| 6.6 Aurinkosähkö ..... | 44 |
| 7 Yhteenveto .....     | 47 |
| Lähteet.....           | 50 |

## TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

|                     |   |
|---------------------|---|
| Affiniteettisäännöt | Pumppu- ja puhallintekniikan perusyhtälöt.  |
| Aurinkopaneeli      | Aurinkokennoista koostuva laite, joka muuntaa Auringon säteilyenergiaa sähköenergiaksi. |
| Huipunkäyttöaika    | Energian tuotantolaitoksen vuosituotanto suhteessa nimellistehoon.                      |
| Maalämpökaivo       | Maalämpökaivo, eli lämpökaivo tai porakaivo, on maalämpöjärjestelmän lämmönlähde.       |
| Maalämpöpumppu      | Lämpöpumppu, jonka lämmönlähteenä on maaperä.   |
| Pakkas (pakaste)    | Etuliite, jota käytetään kylmäjärjestelmän matalamman lämpötilan kylmäkoneikkopiiristä. |
| Plus                | Etuliite, jota käytetään kylmäjärjestelmän korkeamman lämpötilan kylmäkoneikkopiiristä. |
| LED                 | Hohtodiodi eli ledi. Tässä työssä tarkoitetaan LED-valoputkea. (Light-Emitting Diode)   |
| $A$                 | Pinta-ala [ $\text{m}^2$ ].   |
| $E$                 | Vuotuinen energiankulutus [ $\text{kWh}$ ].   |
| $E_{vv}$            | Valaistusvoimakkuus [ $\text{lx}$ ]   |
| $H$                 | Energianhinta nykyhetkellä [ $\text{€/kWh}$ ].  |
| $H_a$               | Vuosittainen huoltokustannus [ $\text{€}$ ].  |
| $H_h$               | Yksittäinen huoltokustannus [ $\text{€}$ ].   |
| $i$                 | Inflaatio [%].  |
| $I_e$               | Elinkaaren aikaisten energiakustannusten arvo [ $\text{€}$ ].                           |
| $I_h$               | Elinkaaren aikaisten huoltokustannusten arvo [ $\text{€}$ ].                            |
| $I_i$               | Investointikustannus [ $\text{€}$ ].  |
| $I_{kok}$           | Elinkaaren aikaisten kustannusten kokonaisarvo [ $\text{€}$ ].                          |
| $r_n$               | Nimelliskorko [%].  |
| $r_e$               | Energiakustannusten korko [%].  |
| $r_r$               | Reaalikorko [%].  |
| $P_{SFP}$           | Ilmanvaihtokoneen ominaisteho [ $\text{kW/m}^3\text{s}$ ].                              |
| $t, n$              | Tarkasteluaika [ $\text{a}$ ].  |
| $\sigma$            | Ilmanvaihtokoneen mitoitusilmavirta [ $\text{m}^3/\text{s}$ ].                          |
| $\varphi$           | Kerroin, joka kertoo kylmämetrien määrän suhteessa kiinteistön pinta-alaan.             |
| $\rho$              | Maalämpöpumpun kattama osuus kiinteistön kokonaislämmöntarpeesta [%].                   |
| $\theta$            | Maalämpöpumpun lämpökerroin.  |
| $\beta$             | Valaistuksen alenemakerroin.  |

|        |                            |
|--------|----------------------------|
| $\eta$ | Valaistushyötysuhde.       |
| $\phi$ | Valaisimen valovirta [lm]. |



# JOHDANTO

Kaupan ala on Suomen suurin työllistäjä ja yksi suurimmista investoijista. Talouden laskusuhdanne vaikuttaa kaupan investointeihin määrällisesti kun taas kansalliset ja kansainväliset lait ja direktiivit ohjaavat investointeja laadullisesti kohti tehokkaampaa energian käyttöä. Energiatehokkuuden parantaminen vaatii monin paikoin totuttujen investointien uudelleenjärjestelyä. Esimerkiksi market-kiinteistöjen kohdalla tällä voidaan tarkoittaa paikallisesti suunniteltuja ja uudelleenmitoitettuja teknisiä järjestelmiä.

Tässä työssä järjestelmäinvestointien kannattavuutta erilaisissa kaupan alan kiinteistöissä vertaillaan elinkaarikustannuslaskennan avulla. Elinkaarilaskennan pohjana käytetään saatavilla olleita kustannus- ja kulutustietoja, joiden perusteella laskentaan on määritettävissä kullekin kiinteistöryhmälle tyypilliset lähtöarvot.

Lämmitysjärjestelmää käsitellään lämmönlähteen ja lämmönjakotavan erilaisina variaatioina. Ilmanvaihtojärjestelmä on osa lämmönjakoa, mutta sitä käsitellään myös omana järjestelmänään arvioiden nykyisen mitoittamiskäytännön uudistamista. Kylmäjärjestelmää kohtaan kiinnostusta lisää sen merkitys marketin kokonaisenergiankulutuksen ja investointikustannuksen kannalta. Kylmäjärjestelmä on market-kiinteistöjen suurimpia yksittäisiä energiankuluttajia ja myös sen investointikustannus on yksi suurimmista. LED-valaistuksesta ei ole pidempiaikaista kokemusta loisteputkivalaisinten korvaajana, mutta viimeisimmät valaisinuudistukset mahdollistavat tässä työssä tehtävän vertailun pohjautuen LED-järjestelmän todellisiin kustannuksiin ja ominaisuuksiin. Edellä mainittujen järjestelmien lisäksi työssä käsitellään aurinkosähköjärjestelmän soveltumista käytettäväksi kauppakiinteistöjen yhteydessä. Elinkaarianalyysissä huomioidaan myös järjestelmän hankintaan saatavat tuet.

## 1.1 Tutkimuskohde, rajaukset ja tavoitteet

Tutkimuksessa tutustutetaan lukija kaupan alan kiinteistöissä käytettäviin, suuria määriä energiaa kuluttaviin järjestelmiin sekä niiden kustannusrakenteisiin. Työssä käsitellään market-kiinteistöjä kolmessa eri kokoluokassa, hypermarket, supermarket ja lähikauppa sekä lisäksi käsitellään liikennemyymälän järjestelmien hankintaa elinkaarilaskennan avulla.

Lämmönjakotapa ja kiinteistössä käytettävä lämmönlähde tai -lähteet liittyvät toisiinsa soveltuvuuden ja kustannusten suhteen ja näin ollen niiden elinkaarilaskennassa pyritään huomioimaan kulloiseenkin tapaukseen liittyvät kustannukset parhaalla mahdollisella tavalla. Kaikissa tapauksissa kustannuksia ei

kustannusseurannan pohjalta voida suoraan kohdistaa haluttuihin kohteisiin. Kylmäjärjestelmä rajataan tekniikan puolesta hiilidioksidi–kylmäjärjestelmän ja perinteistä synteettistä kylmäainetta käyttävään järjestelmään sekä näiden erilaiseen varusteluun. Kiinteistöjen energijärjestelmät käytännössä liittyvät toisiinsa, mutta työn tavoitteena olevan yksinkertaisemman hankintavertailun takia kunkin järjestelmän toiminnot ja kustannukset pyritään erittelemään järkevällä tavalla. Helpoimmin muista järjestelmistä on erotettavissa valaistus- ja aurinkosähköjärjestelmät, joiden toiminnassa sekä kustannuksissa ei tule päällekkäisyyksiä muiden järjestelmien kanssa. Investointi- ja energiakustannusten lisäksi muita kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat huolto- ja ylläpitokustannukset sekä rahoituksen korkokanta ja investoinnin pitoaika.

Tutkimuksen tavoitteena on yksinkertaistaa tulevien hankintojen alustavaa vertailua ja kehittää laskentamallia, jonka avulla energiasäästöjärjestelmien kannattavuutta on helpompi arvioida.

## **1.2 Tutkimuksen rakenne ja sisältö**

Työn alkupuoliskolla käydään läpi kiinteistöryhmien energiankulutusta ja suurimpia energiankulutukseen vaikuttavia järjestelmiä. Merkittävimpien järjestelmien osalta muodostetaan uuden ja vanhemman tekniikan vertailupareja tai ryhmiä, joiden elinkaarikustannusten muodostumista käydään läpi myöhemmissä luvuissa. Luvussa 2 esitellään eri kiinteistöryhmien tyypilliset energiankulutusjakaumat ja tehdään havaintoja kulutusjakaumiin nojaten. Lisäksi pohditaan järjestelmien eroja ainoastaan energiankulutuksen pohjalta, koska energiankulutus on hankintakustannusten ohella merkittävimpiä tekijöitä elinkaaren kokonaiskustannusten kannalta. Luvussa 3 käsitellään elinkaarianalyysiä yleisesti ja luvussa 4 muodostetaan elinkaarikustannuksiin vaikuttavat tekniset järjestelmävaihtoehdot ja muodostetaan näille investointikustannustieto joko toteutuneiden investointien pohjalta tai arvioimalla vastaavan järjestelmän kustannuksia. Luvussa 5 käydään läpi eri teknisten toteutustapojen vaikutukset energiakustannuksiin. Luku 6 kokoaa yhteen edellisissä kappaleissa määritellyt kustannukset ja järjestelmävariaatiot muodostaen elinkaarikustannuslaskelman. Luvussa 7 arvioidaan laskentaohjelman tuloksia ja tehdään työn johtopäätökset.

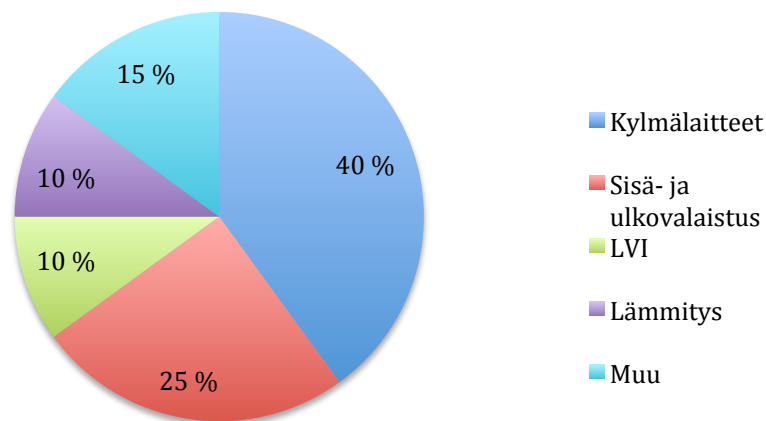
## **2 TOIMIALAN JA TOIMIJAN ESITTELY**

S-ryhmä on Suomen suurin kaupan alan yritysryhmä. Toiminta perustuu osuustoimintamalliin ja se muodostuu Suomen osuuskauppojen Keskuskunnasta (SOK) tytäryhtiöineen sekä 20 alueosuuskaupasta ja 8 paikallisosuuskaupasta ympäri Suomen. Kauppapalveluiden lisäksi S-ryhmä tarjoaa myös pankkipalveluita. S-ryhmällä oli vuoden 2012 lopussa 1697 toimipaikkaa ja henkilöstöä yhteensä 43417.

Tässä työssä käsitellään market- sekä liikennemyymäläkiinteistöjen lämmitys- ja kylmäjärjestelmiä sekä ilmanvaihtoa, lämmönjakoa ja valaistusta niiden elinkaarikustannusten suhteen. Lisäksi käsitellään aurinkosähköjärjestelmän elinkaaren aikaista kustannusrakennetta. Työssä käsiteltävät market -kiinteistöryhmät ovat hypermarket, supermarket ja lähikauppa. Edellä mainittujen ryhmien edustajia ovat Prisma, S-marketit sekä S-market ja Alepa.

### **2.1 Marketin ja liikennemyymälän energiankulutus**

Tutkimuksen kohteena olevat kiinteistöryhmät voidaan karkeammin jakaa kahteen tyyppiin: marketteihin ja liikennemyymälöihin. Kaikkia kiinteistöjen energiajärjestelmiä käsitellään tässä tutkimuksessa erillisinä kuitenkin pyrkien huomioimaan toisiinsa kytköksissä olevat järjestelmät sekä niiden kustannukset parhaalla mahdollisella tavalla. Kiinteistöjen kulutusmittaus jakaantuu yleensä kolmeen päämittaukseen, jotka ovat kaukolämmön kulutus, sähkönkulutus sekä vedenkulutus. Näiden lisäksi kiinteistössä voi olla useita alamittauksia, joita tämän työn puitteissa pyritään hyödyntämään. Monista lähikaupoista ei ole saatavilla juuri lainkaan alamittauksia ja niiden saatavuus vaihtelee muidenkin kiinteistöryhmien kohdalla merkittävästi. Kuvassa 2.1 esitetään keskimääräisen marketin energiankulutusjakauma. [1]



**Kuva 2.1.** Marketin energiankulutuksen jakaantuminen [1].

Liikennemyymälän energiankulutus eroaa kuvassa 2.1 esitetystä pääasiassa ravintolan keittiön sekä asiakastilojen kuluttaman energian osalta. Eroja aiheuttavat myös erilaiset toiminnot sekä aukioloajat. Kuvasta 2.1 on nähtävissä kolmen yksittäisen järjestelmän merkitys marketin energiankulutukseen. Kylmäjärjestelmä, valaistus sekä LVI-järjestelmät ovat yhdessä lämmitysjärjestelmän kanssa suurimmat yksittäiset energiankuluttajat.

Market- ja liikennemyymäläkiinteistöissä lämmitysenergiaa kuluu pääasiassa vuodenajasta ja sijainnista riippuen tilojen ja käyttöveden lämmitykseen. Lämpöenergiankulutus vaihtelee lämmitysmuodon ja lämmönjakotavan sekä mahdollisten lämmöntalteenottojärjestelmien mukaan. Lisäksi lämpöenergiaa kuluu erilaisiin sulanapitojärjestelmiin sekä oviverhopuhaltimiin, mutta näiden järjestelmien energiankulutukseen eikä käyttöveden lämmitykseen erillisinä järjestelminään oteta kantaa tämän työn puitteissa. Lämmitysmuotona käytetään vaihtelevasti kaukolämpöä, maalämpöä, sähköä, maakaasua sekä öljylämmitystä. Lämmityksessä pyritään hyödyntämään kylmäjärjestelmän lauhdelämpöä, mutta useimmissa kiinteistöissä sen rinnalla käytetään joko yhtä tai useampaa lämmitysjärjestelmää. Lämmönjako toteutetaan käyttäen joko ilmanvaihtoa, lattialämmitystä, erilaisia säteilijöitä tai näiden yhdistelmiä. Lämmönlähteen valintaan vaikuttaa kiinteistön mahdollisuudet kunkin energiamuodon hyödyntämiseen, joita tämän työn puitteissa tarkastellaan elinkaarilaskelmien avulla.

Kiinteistöjen jäähdytysenergiankulutus koostuu kylmäjärjestelmän sekä ilmanvaihdon jäähdytyksen energiankulutuksesta. Tämän työn puitteissa kylmäjärjestelmistä puhuttaessa viitataan kylmäsäilytysjärjestelmään. Kylmäjärjestelmän tehontarve riippuu muun muassa kylmäkalusteiden sekä -huoneiden määrästä ja varustuksesta. Tässä työssä keskitytään käsittelemään erilaisten kylmäkoneistojen ja -kalusteiden vaikutuksia järjestelmän elinkaaren aikaisiin kustannuksiin niin investointi- kuin käyttökustannusten osalta. Kylmäenergian kulutusmittaus, johon elinkaaren

aikaisten energiakulujen laskenta perustuu, pitää sisällään kylmäkoneikon sekä kylmäkalusteiden ja -huoneiden energiankulutuksen kokonaisuudessaan.

Ilmanvaihtojärjestelmän tehtävä on pitää kiinteistön sisäilma miellyttävänä riippumatta siihen vaikuttavista ulkoisista ja sisäisistä tekijöistä. Ulkoisia tekijöitä ovat muun muassa ulkolämpötila sekä ilmanlaatu ja sisäisiä tekijöitä kiinteistön laitteet ja ihmiset. Ilmanvaihdon lämmityksellä ja jäähdytyksellä pyritään kompensoimaan kylmälaitteiden aiheuttamaa kylmäkuormaa ja toisaalta kompensoimaan sekä ulkoisten että sisäisten tekijöiden aiheuttamaan lämpökuormaa. Tässä työssä ilmanvaihtojärjestelmän elinkaarikustannuksia käsitellään lämmönjakoon liittyvien kustannusten lisäksi myös sen mitoittamisen pohjalta, joten myöhemmissä kappaleissa ilmanvaihdosta puhuttaessa tarkoitetaan ilmanvaihtojärjestelmän mitoitusmenetelmien vertailua.

Liikekiinteistöissä ilmanvaihdon mitoittamisen perusteena käytetään Rakennusmääräyskokoelman D2 mukaista pinta-alaperusteista mitoitusta, joka määrittää liiketiloissa ilmanvaihtuvuudeksi  $2 \text{ dm}^3/\text{s}$  neliömetriä kohden. HOK–Elannon tekemän selvityksen mukaan kiinteistöjen ilmamäärät ovat poikkeuksetta ylisuuria. Oletetun maksimihenkilömäärän pysyvyys ajallisesti on vuotuisesta aukioloajasta vain noin 0,2 % ja maksimi henkilömäärän aikanakaan ilman hiilidioksidipitoisuus ei pääse ylittymään lyhyen ajallisen pysyvyyden takia. Lisäksi ilmamäärän liiallinen vaihtuvuus kasvattaa ilmanvaihdollisen lämmityksen kuluja lämmitettävän ilmamäärän kasvaessa. Rakennusmääräyskokoelma ei erittele liiketilojen henkilömääräperusteista ilmanvaihtoa, joten laskennassa henkilömääräperusteisen mitoituksen pohjana käytetään yleisesti käytettävää  $6 \text{ dm}^3/\text{s}$  henkilöä kohden. Tämä mitoitus tapa vaatii arviot kulloisenakin ajanhetkenä kaupassa olevista ihmisistä. Tieto voi perustua esimerkiksi kassatapahtumien määrään, josta on luotavissa tuntikohtainen arvio kaupan aukioloaikojen kävijämäärille ilmanvaihdon ohjaukseen. [2, 3]

Valaistuksen elinkaarilaskenta suoritetaan kiinteistön yleisvalaistukselle verraten yleisesti käytössä olevaa T5 loisteputkivalaistusta LED-valaistukseen. Energiakustannusten laskenta ei perustu toteutuneisiin kulutusmittauksiin, vaan teoreettiseen laskentaan valaistuksen kokonaistehoon ja käyttötuntimäärään perustuen. Laskennan vertailukohtana käytetään tietoja Toijalan S-marketissa toteutetusta valaistusuudistuksesta, jossa siirryttiin loisteputkivalaisimista LED-valaisimiin. Elinkaarikustannusvertailussa vastaava ”uudistus” toteutetaan kaikille kiinteistöryhmille käyttäen hyödyksi toteutuneen kohteen investointi ja mitoitus tietoja.

Aurinkosähköjärjestelmä sopii sähköntuotantomallinsa mukaan kaupan kiinteistöjen sähkönkulutusjakaumaan. Kaupan alan kiinteistöissä sähköenergiankulutus on lähes poikkeuksetta suurimmillaan aurinkoisina kesäpäivinä, jolloin myös aurinkosähkön saatavuus on suurimmillaan. Aurinkosähköön ei juurikaan olla investoitu, vaikka kaupan kiinteistöt monesti tarjoavatkin hyvän asennusympäristön suuren kattopinta-alan ja avoimien tonttien ansiosta. Tämän työn osalta aurinkosähköä koskeissa laskuissa oletetaan asennuksen olevan mahdollista kaikissa tapauksissa ja

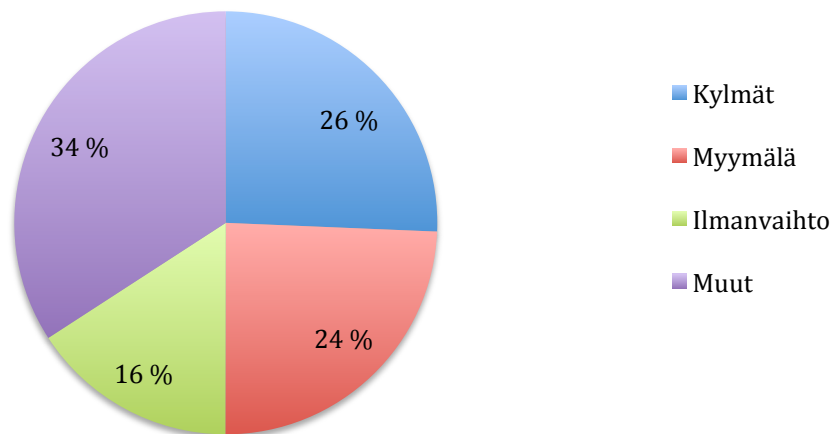
näin ollen keskitytään ainoastaan luomaan katsaus aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuteen.

## 2.2 Kiinteistöryhmien energiankulutus

Tässä luvussa esitellään kiinteistöryhmät sekä niiden sähköenergian kulutusjakaumat, joissa on esitetty kylmäjärjestelmän, ilmanvaihdon sekä myymälätilojen osuudet kokonaissähköenergiankulutuksesta. Kuvassa 2.1 esitetystä energian kulutusjakaumasta poiketen käsittelemme myymälän sähkönkulutusta, johon tämän työn puitteissa sisällytetään valaistus, koska valaistuksen sähkökulutuksesta ei ole riittävästi saatavilla mittaustietoja. Kuvissa 2.2 – 2.5 muut-osio kuvaa kiinteistön muiden toimijoiden tai kuvissa esittämättömien alamittausten osuutta kokonaiskulutuksesta.

### 2.2.1 Hypermarket

Hypermarketit ovat pääosin itsepalveluperiaatteella toimivia, päivittäistavaroiden lisäksi käyttötavaroita myyviä yli 2500 neliömetrin suuruisia myymälöitä. Samoissa liiketiloissa toimii usein myös muita toimijoita, kuten Alko ja apteekkeja tai esimerkiksi kampaamo. Kuvassa 2.2 esitetään tässä työssä tarkasteltujen hypermarkettien sähköenergian kulutusjakauma.



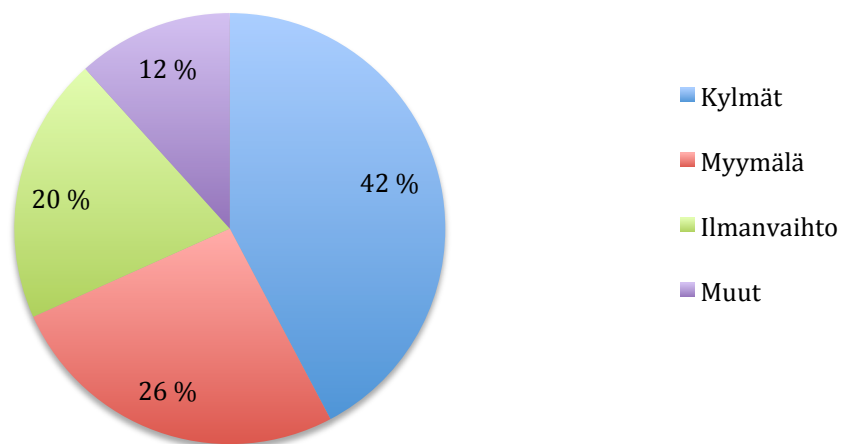
**Kuva 2.2.** Hypermarketin sähköenergian kulutusjakauma. [4]

Kulutusjakauma ei erittele samassa kiinteistössä toimivien muiden yritysten tai tilojen sähkönkulutusta vaan näyttää luvussa 2.1 esitettyjen järjestelmien osuudet hypermarket-kiinteistön kokonaissähkönkulutuksesta, joka on keskimäärin suuruudeltaan 4550 MWh vuodessa. Lämpöä hypermarketissa kuluu keskimäärin 1210 MWh. Hypermarketin sähköenergiasta noin kolmannes kuluu muissa kuin tässä työssä käsiteltävissä järjestelmissä, mutta kylmäjärjestelmä, ilmanvaihto sekä valaistus ovat

lämmitysjärjestelmän lisäksi suurimmat yksittäiset energiankuluttajat. Myymälän sähkönkulutuksen oletetaan muodostuvan lähes yksinomaan valaistuksesta ja se kattaa koko hypermarketin sähkönkulutuksesta noin neljänneksen. Lämmönlähteenä on vaihtelevasti käytössä kaukolämpöä sekä kaukolämmön ja maalämmön yhdistelmiä. Osa tässä työssä käsitellyistä hypermarket-kiinteistöistä on vanhoja ja niitä on myös remontoitu sekä laajennettu vuosien varrella, joten kiinteistöjen järjestelmät ja mittaroinnit poikkeavat toisistaan. [4]

### 2.2.2 Supermarket

Supermarket on myyntipinta-alaltaan vähintään 400 neliometriä ja sen sijainti poikkeaa hypermarketista niin, että supermarketit sijaitsevat useimmiten kaupunkien tai asutuskeskusten keskustoissa. Supermarketissa myymäläpinta-alasta suurimman osan kattaa elintarvikeosasto, kun taas hypermarketin valikoima tarjoaa myös vaatetusta sekä kodintarvikkeita. Kuva 2.3 esittelee tässä työssä käsiteltyjen supermarkettien sähköenergian kulutusjakaumaa.

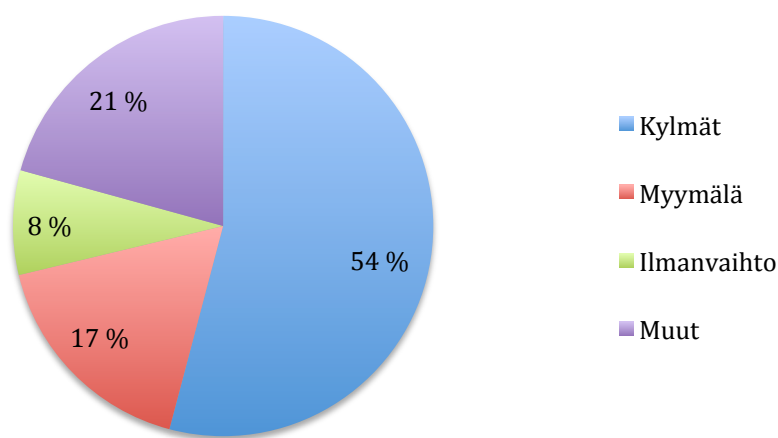


**Kuva 2.3.** Supermarketin sähköenergian kulutusjakauma. [4]

Supermarketin sähköenergian kulutus koostuu lähes yksinomaan luvussa 2.1 esiteltyjen järjestelmien sähkönkulutuksesta. Supermarkettien vuotuinen sähkönkulutus on keskimäärin noin 1124 MWh vuodessa. Lämmittämiseen käytetään lämmitysjärjestelmästä riippuen vajaa viidennes kaikesta sähkö- ja lämpöenergiasta eli noin 230 MWh. Suuren osan kaupan pinta-alasta kattavan elintarvikeosaston vuoksi kylmäjärjestelmän osuus kulutetusta sähköenergiasta voi nousta jopa puoleen. Myymälän valaistuksen ja ilmanvaihdon osuudet yhdessä vastaavat kylmäjärjestelmän kulutusta ja loppu kymmenys jää muille järjestelmille, kuten esimerkiksi kiinteistön talotekniikalle. Mittauksessa käytettyjen supermarkettien lämmitysmuodot vaihtelivat kaukolämmön ja sähkölämmityksen välillä. [4]

### 2.2.3 Lähikauppa

Lähikauppa on kuluttajia lähellä oleva helposti saavutettava niin sanottu kivijalkaliike, joka myy päivittäistavaroita. Lähikaupat ovat lukumäärällisesti huomattava osa kaupan alaa. Maamme kaikista päivittäistavarakaupoista lähikaupat kattavat noin 60 %. Monet lähikaupat ovat osa jotain muuta kiinteistöä ja näin ollen niiden energiankäyttö varsinkin lämmityksen osalta on usein yhdistetty muuhun kiinteistöön. Kuvassa 2.4 esitellään sähköllä ja kaukolämmöllä lämpiävien lähikauppojen sähköenergian kulutusjakauma.



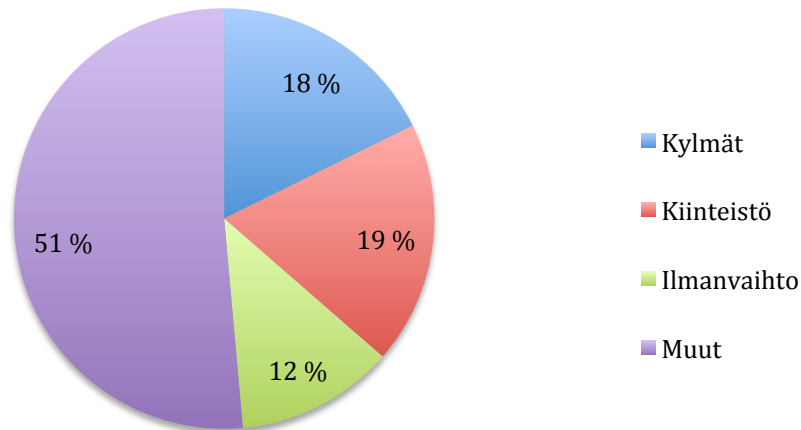
**Kuva 2.4.** Lähikaupan sähköenergian kulutusjakauma. [4]

Lähikauppojen keskimääräinen sähköenergian kokonaiskulutus vuodessa on 340 MWh ja lämmönkulutus 65 MWh. Kuva 2.4 osoittaa sähkönkulutuksen painottuvan yhä enemmän kylmäjärjestelmään. Ilmanvaihdon ja myymälän osuus sähkönkulutuksesta pienenee myymälätilojen pienentyessä. Tässä työssä elinkaarilaskelmat tehdään lähikaupan osalta samoille järjestelmille kuin muidenkin kiinteistöryhmien kohdalla, vaikka lähikaupat monesti ovat vuokralaisena osana muita kiinteistöjä. [4]

### 2.2.4 Liikenneasema

Liikenneasemalla tarkoitetaan tässä työssä liiketilaa, jossa on myynnissä polttoaineiden lisäksi sekä autotarvikkeita että peruselintarvikkeita. S-ryhmän ABC-liikennemyymälät tarjoavat ravintolapalveluita ja monin paikoin liikennemyymälän tiloissa on vuokralaisina yksityisiä yrityksiä. Kuvassa 2.5 esitetään liikenneaseman keskimääräinen sähköenergian kulutusjakauma.





**Kuva 2.5.** Liikennemyymälän sähköenergian kulutusjakauma. [4]

Liikenneaseman sähkönkulutusjakaumaa selittää liiketilojen ja palveluiden monimuotoisuus. Liikenneasemien sähköenergian kokonaiskulutus on keskimäärin 1480 MWh ja lämpöenergiankulutus 420 MWh. Suuri osa energiasta kuluu muissa kuin tässä työssä käsiteltävissä järjestelmissä, esimerkiksi ravintolan keittiössä ja erona marketteihin kuvaajassa käytetään myymälän sijaan termiä kiinteistö. Keittiön ja muiden yksittäisten kulutuskohteiden kuluttamaa lämpö- ja sähköenergiaa ei tämän työn puitteissa oteta erikseen huomioon. [4]

## 3 ELINKAARILASKENTA

Tässä työssä käsiteltävät järjestelmät ovat pitkäikäisiä ja kalliita investointeja, joten niiden käyttöikänsä aikana aiheutuvia kustannuksia on syytä arvioida elinkaarilaskennan avulla. Investoinnin elinkaaren aikaiset kustannukset voidaan karkeasti jakaa kolmeen osaan: alkuinvestointiin, käytön aikaisiin kustannuksiin ja poistoon. Kustannusten historiatietoja tai arvioita käyttämällä voidaan tehdä laskelmia, joiden avulla erilaisia järjestelmiä voidaan vertailla tasapuolisesti.

### 3.1 Elinkaarilaskennan lähtökohdat

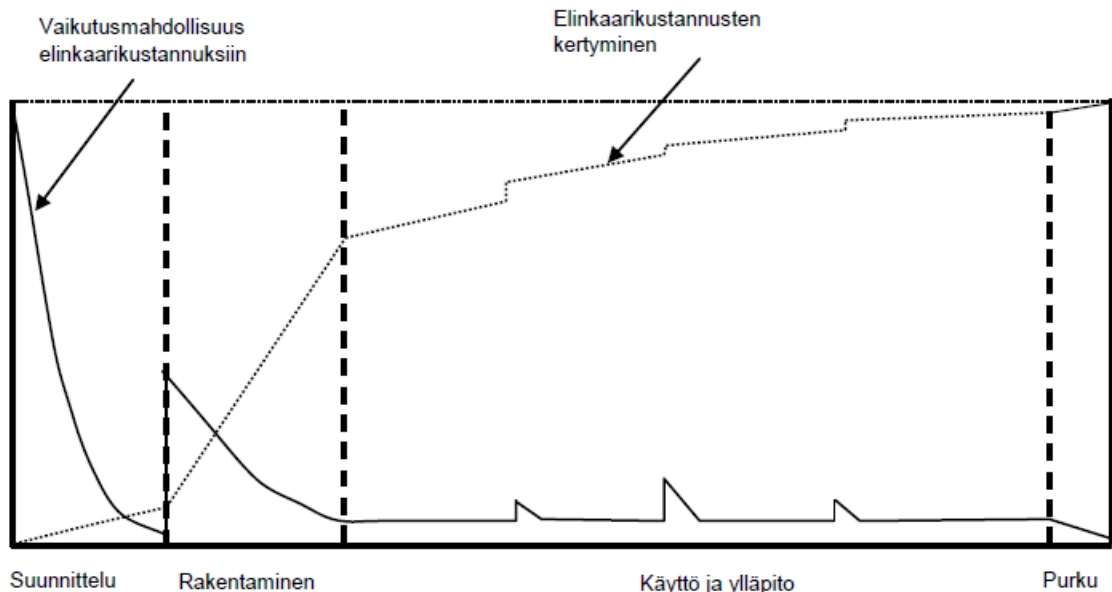
Investointihanke lähtee lähes poikkeuksetta alulle jostakin tietyistä tarpeista. Tarveselvitysvaiheessa on pyrkimyksenä selvittää eri tilatyypin ja investointivaihtoehtojen kustannusanalyysit huomioon ottaen pidempiaikainen kiinteistöstrategia. Tämän työn tarkoituksena on osaltaan nopeuttaa tarveselvitysvaihetta helpottamalla investointien kustannusvertailua. Kiinteistöstrategian tulisi ottaa huomioon kiinteistössä tapahtuvan palvelun luonne ja mahdolliset erityispiirteet.

Elinkaarilaskenta on tulevaisuuden ennustamista, jonka muuttujia pyritään hallitsemaan mahdollisimman tarkasti. Investoinnin vaihtoehtojen toteutusmuotojen läpikotainen vertailu ja tunteminen on vaikeaa, mutta välttämätöntä onnistuneen hankkeen kannalta. Kuvassa 3.1 on nähtävissä investoinnin elinkaaren aikana kertyvät kustannukset ja mahdollisuudet vaikuttaa niihin elinkaaren eri vaiheissa. Investoinnin kokonaistaloudellisuuteen vaikuttavien tekijöiden vaikutukset koko hankkeen elinkaaren ajalta on tärkeä pyrkiä muodostamaan. Monien laitteiden pitkä elinkaari ja elinkaaren aikana tapahtuvien muutosten tuoma epävarmuus vaikeuttavat tätä ennustamista. Kokonaistaloudellinen tarkastelu on monivalintainen kokonaisuus, jossa eri valintojen arvottaminen tulee näkymään vasta hyvinkin pitkällä aikajänteellä. Numeerisen tarkastelun lisäksi olisi hyvä pyrkiä laadulliseen tarkasteluun ja vertailuun käyttäen apuna esimerkiksi seuraavanlaisia huomioita:

1. Investoinneilla saavutettava palvelu- tai laatutaso
2. Elinkaaren aikaiset tuotot ja kustannukset
3. Mikä on investointi- ja ylläpitokustannusten yhteys?
4. Tuottovaade ja korko
5. Jäännösarvo

Eri toteutusmuotojen vertailussa keskeinen arvioinnin kohde on elinkaari-investoinnin todellinen hyöty investointiprosessin ja palvelun tuotannon kannalta. Investointi-

päätöksen ja toteutustavan valinnan tulisi perustua pitävillä laskelmille, joilla osoitetaan mahdollisimman kustannustehokas vaatimukset täyttävä kokonaisuus. [5]



**Kuva 3.1.** Vaikutusmahdollisuus elinkaarikustannuksiin ja niiden kertyminen investoinnin elinkaaren eri vaiheissa. [5]

Kuvassa 3.1 esitetään investoinnin elinkaaren aikaisten kustannusten kertyminen ajan ja investoinnin vaiheiden mukaan. Tässä työssä käsiteltävien järjestelmien osalta kustannusten kertyminen voi poiketa kuvassa 3.1 esitetystä, koska energiakustannukset voivat vaihdella suhteessa hankintahintaan. Myös käytön aikaiset kustannukset vaihtelevat eivätkä ne välttämättä vastaa kuvassa 3.1 esiintyviä ”kustannuspiikkejä”.

## 3.2 Suunnitteluratkaisujen valinta

Kulloisenkin investoinnin kohdalla tulee tehdä arviot järjestelmän eliniästä. Eliniän arvioinnin mukaan määrittyy myös käytönaikaiset kustannukset, jotka muodostuvat käytöstä ja ylläpidosta. Käyttökustannukset muodostuvat energijärjestelmiä käsiteltäessä pääasiassa kunkin järjestelmän käyttämästä sähkö- tai lämpöenergiasta. Ylläpitokustannukset määritellään jokaiselle järjestelmälle erikseen ja ne huomioidaan laskuissa tiettyinä prosenttiosuutena vuotuisista kustannuksista tai kertaluontoisina töinä, kuten esimerkiksi lamppujen vaihto. Vertailtaville järjestelmille ei lasketa olevan arvoa käyttöikänsä lopussa vaan niistä aiheutuu kierrätys- ja hävitysmaksuja. Laskelmissa ei kuitenkaan huomioida käyttöajan jälkeisiä kustannuksia.

### 3.2.1 Valintaan vaikuttavia tekijöitä

Elinkaarilaskennassa käyttöiän arvioimisella tuleviin kustannuksiin on merkitystä. Käyttöikään vaikuttavat eniten laitteiden ja järjestelmien käyttöolosuhteet, käyttö ja kunnossapitotoimet. Keskenään vastaavien laitteiden erimittaisella käyttöiällä voi olla huomattavia vaikutuksia lopullisiin kustannuksiin. Rakennuksen ja sen sisältämien

järjestelmien käyttöiällä on suora vaikutus tilojen käyttökelpoisuuteen, kestävyYTEEN sekä elinkaarikustannuksiin. On mahdollista, että parin vuosikymmenen päähän laskettujen investointien käyttöaikana tekniikka kehittyy niin paljon, että vanha järjestelmä on taloudellisesti kannattavampaa vaihtaa uuteen ennen suunniteltua päivitystä. Myös lait ja asetukset voivat pakottaa tähän tilanteeseen, esimerkiksi synteettisen kylmäaineen käytön kieltämisellä. KestävyyTEEN vaikuttaa muun muassa käyttöympäristö, huolto, vuosittainen käyttömäärä ja -tapa. Käyttöikäsuunnittelussa tulee huomioida myös järjestelmiä ympäröivän rakennuksen käyttöikä, yhteensopivuus sekä yhteensopivuus muiden mahdollisten järjestelmien kanssa.

Kustannuslaskelmiin vaikuttaa myös huoltojen ajoitus. Elinkaaren loppupäässä huoltojen määrä usein lisääntyy tai niitä lykätään kokonaan odotellen järjestelmän alasajoa. Huoltosuunnitelmia joudutaan tekemään myös laitteistoille, joiden toiminnasta ei juurikaan ole kokemusta ja tämä väistämättä aiheuttaa virheitä laskelmiin. Monille luotetuille ja pitkään käytössä olleelle tekniikalle (esimerkiksi valaistus) voidaan tehdä varsin tarkat ja luotettavat laskelmat huoltotoimenpiteistä elinkaarilaskelmaa varten. Ennakoivat huoltotoimenpiteet ja esimerkiksi varaosien tilaus ennakkoon vaatii huomattavaa perehtyneisyyttä ja laitteiden tuntemusta, jotta välttyttäisiin turhilta tilauksilta sekä samanaikaisesti oltaisiin valmiina laitekorjauksiin mahdollisen vian sattuessa ettei ylimääräisiä kustannuksia koituisi mahdollisista seisokeista tai rikkoutuneen osan aiheuttamista vaurioista muulle koneistolle. [5]

### **3.2.2 Muutoksiin varautuminen**

Suunnittelussa pyritään vastaamaan haluttuihin vaatimuksiin ja ominaisuuksiin mahdollisimman tehokkaasti niin laadullisesti kuin taloudellisestikin. Usein käy kuitenkin niin, että suunniteltu toiminta muuttuu jopa siinä määrin että vanhat oikein mitoitettut ja säädetyt järjestelmät tai tilat eivät enää vastaa tarpeisiin. Tästä syystä suunnittelussa käytetään muuntojoustoja, joka pyrkii huomioimaan mahdollisia tiloissa tapahtuvia muutoksia tai takaa valmiuden tuleviin tiedossa oleviin muutoksiin. Tärkeimpiä muutoksiin johtavia syitä ovat usein:

- Toiminnan laajeneminen tai siirtyminen
- Toiminnan muuttuminen tai vaihtuminen
- Toiminnan tehostus
- Ympäristön muutos

Muuntojoustoja on usein vaikea suunnitella etukäteen. Muuntojouston määrittelemiseksi ei ole olemassa yksiselitteisiä ohjeistuksia ja uusiutuva tekniikka kiristyvien lakien kanssa aiheuttaa tietyiltä osin paineita onnistuneelle jouston suunnittelulle tai sen hylkäämiselle. Järjestelmien mahdollisia tarpeita joustavuudelle tulisi arvioida erilaisten todennäköisten vaihtoehtojen ja tulevaisuuden suunnitelmien perusteella. Luonnollista joustoja on esimerkiksi kesäajan ilmastoinnin tehokkuuden nosto ja kaupan alalla

yleinen jousto on viime aikoina kohdistunut tilojen laajentaminen jälkikäteen. Suunnittelijan on erittäin vaikea arvioida loppukäyttäjän tulevia joustotarpeita ja näin ollen onkin erityisen tärkeää tuoda ilmi mahdolliset toiveet ja tarpeet. Vuorovaikutteisesti suunnittelijan on hyvä kertoa käyttäjälle järjestelmien ominaisuuksista ja käytössä olevista joustoista, jotta vältetään väärinkäyttöiltä ja näin turhilta resurssien tuhlaamiselta. [5]

### 3.3 Kannattavuustarkastelu

Investointilaskenta perustuu aina lähtöarvoihin, joihin liittyy epävarmuutta. Lähtöarvoja ovat perushankintakustannuksen lisäksi juoksevasti syntyvät kustannukset sekä mahdolliset tuotot, laskentakorkokanta sekä investoinnin pitoaika ja jäännösarvo. Perushankintakustannus on kertaluontoinen maksu, joka on energiajärjestelmien tapauksessa suuri. Sen on myös lähtöarvoista vähiten epävarmuutta sisältävä. Perushankintakustannus sisältää itse järjestelmän hinnan lisäksi usein myös asennuskustannukset, logistiikkakustannukset ja esimerkiksi teetetystä selvitystyöstä aiheutuneet kustannukset. Juoksevasti syntyviä kustannuksia ovat käyttö- ja ylläpitokustannukset. Ylläpitokustannukset ovat käyttö- ja hankintakustannuksiin nähden usein häviävän pieniä eikä jäännösarvoakaan juuri ole kyseisten järjestelmien kohdalla vaan niistä aiheutuu lähinnä hävityskustannuksia, jotka voidaan sisällyttää laskelmissa huoltokustannuksiin.

#### 3.3.1 Laskentamenetelmä

Elinkaarilaskennan avulla pyritään tarkastelemaan kuinka kannattava hankinta on. Tässä työssä tarkasteltavien järjestelmien osalta ainoastaan aurinkosähköjärjestelmän kohdalla voidaan puhua mahdollisista tuotoista, muiden osalta kannattavuudella tarkoitetaan mahdollisimman pieniä elinkaaren aikana aiheutuvia kustannuksia. Laskentasovelluksella voidaan tarkastella eri järjestelmien vuosittaisia kustannuksia, joiden summan avulla nähdään kustannusten kumulatiivinen kertyminen. Kunkin järjestelmän kohdalla on laskettavissa investoinnin nykyarvo halutun mittaisella aikajaksolla, kun taas kumulatiiviset kustannukset piirtyvät 25 vuoden mittaiselle aikajanjalle. Elinkaaren aikaisten kustannusten nykyarvo  $I_{kok}$  saadaan vuotuisten diskontattujen kulujen summana yhtälön 3.1 mukaan.

$$I_{kok} = I_i + I_e + I_h, \quad (3.1)$$

missä  $I_i$  on investointikustannus,  $I_e$  on energiakustannusten nykyarvo ja  $I_h$  on huoltokustannusten nykyarvo. Laskennassa huomioidaan energianhinta, sen odotettavissa oleva nousu, korkokanta ja laskentajakson pituus.

Energiakustannukset ovat järjestelmän käytöstä aiheutuvia kuluja, joiden nykyarvon laskenta on esitetty yhtälössä 3.2.

$$I_e = E \cdot H \cdot \frac{(1+r_e)^t - 1}{r_e \cdot (1+r_e)^t}, \quad (3.2)$$

missä  $E$  on vuotuinen energiankulutus,  $H$  on energianhinta nykyhetkellä,  $r_e$  on energiakustannusten laskentakorko ja  $t$  on tarkasteluajan pituus.

Kumulatiivista energiakustannusten kertymistä varten laskettava kulloisenkin ajanhetken energiakustannus voidaan laskea yhtälön 3.3 mukaan.

$$I_{e,vuosi} = E \cdot H \cdot (1 + r_e)^t, \quad (3.3)$$

missä  $E$  on vuotuinen energiankulutus,  $H$  on energianhinta nykyhetkellä,  $r_e$  on energiakustannusten laskentakorko ja  $t$  on haluttu ajanhetki.

Järjestelmän käyttö- ja ylläpitokustannukset ovat tietyin aikavälein muodostuvia kustannuksia, joita ovat esimerkiksi lamppujen vaihto. Huoltokustannusten  $I_h$  ollessa vuosittain samat, voidaan niiden nykyarvo laskea yhtälön 3.4 mukaan.

$$I_h = H_a \cdot \frac{(1+r)^t - 1}{r \cdot (1+r)^t}, \quad (3.4)$$

missä  $H_a$  on vuosittainen huoltokustannus,  $t$  on tarkasteluajan pituus ja  $r$  on reaalikorko. Kun järjestelmän huoltojakso poikkeaa kalenterivuodesta tai jos huoltokustannukset ovat epäsäännöllisiä, on huoltokustannukset diskontattava nykyhetkeen erikseen. Tällöin huoltokustannusten nykyarvo saadaan yhtälön 3.5 avulla.

$$I_h = H_h \cdot \frac{1}{(1+r)^n}, \quad (3.5)$$

missä  $H_h$  on yksittäinen huoltokustannus,  $n$  on se vuosi nykyhetkestä lukien, johon huoltokustannus liittyy ja  $r$  on reaalikorko.

Huoltokustannusten  $I_h$  laskennassa käytetty reaalikorko  $r$  lasketaan yhtälön 3.6 mukaisesti.

$$r = \frac{r_n - i}{1 + i}, \quad (3.6)$$

missä  $r_n$  on nimelliskorko ja  $i$  on inflaation arvo.

Taloteknisten järjestelmien energiakustannusten laskennassa käytetään eri korkokantaa kuin muissa kustannuksissa. Energiakustannusten laskennassa käytettävä laskentakorko  $r_e$  lasketaan yhtälön 3.7 avulla.

$$r_e = \frac{r - e}{1 + e}, \quad (3.7)$$

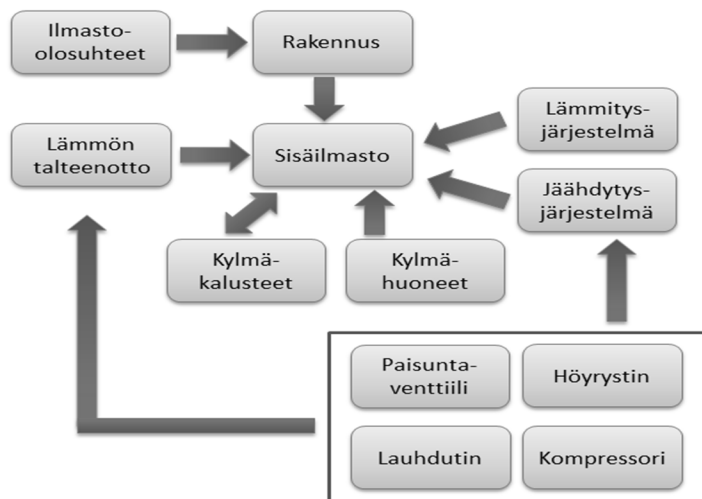
missä  $r$  on reaalikorko ja  $e$  on eskalaatio. Eskalaatiolla tarkoitetaan energian hinnan muutoksen ja inflaatiosta johtuvan hinnan muutoksen suhdetta. [6, 7]

### 3.3.2 Laskennassa käytettävät lähtöarvot

Kaikkien tarkasteltavien järjestelmien pitoajat ovat suhteellisen pitkiä, joten on hyvä tehdä arvioita koko investoinnin kannattavuuteen vaikuttavien muuttujien osalta. Käyttökustannukset koostuvat sähkö- ja lämpöenergian kulutuksesta. Kulutusta arvioidaan laitteiston tehon, toteutuneen kulutuksen tai verrokkitietojen pohjalta. Sekä sähkö- että lämpöenergianhinta ovat jatkuvassa muutoksessa eikä muutoksen suuruutta tai ajanhetkeä voi ennustaa kovinkaan pitävästi. Hinnat tulevat historiatietoihin nojautuen todennäköisesti jatkamaan nousuaan. Tämän hetken korkokanta on alhainen, mutta kuten energianhinnan muutoksen arviointi, on korkokannan muutoksen arviointi tulevien vuosien osalta vaikeaa. Energianhinta sekä laskentakorko vaikuttavat yksittäisinä muuttujina laskennassa saataviin lopputuloksiin. Muuttamalla niin energianhintaa kuin hinnan muutosnopeutta voidaan laskentaohjelman avulla laskea erilaisten skenaarioiden vaikutuksia toteutuviin kustannuksiin. [8]

## 4 LIIKETILAN JÄRJESTELMIEN INVESTOINTIKUSTANNUKSET

Tässä luvussa määritellään luvussa 2 esitettyjen energiankulutuskaavioiden pohjalta keskenään vertailtavat järjestelmävaihtoehdot sekä käydään läpi niiden tekniikkaa ja vaikutussuhteita toisiinsa sekä elinkaarikustannuksiin. Kuvassa 4.1 on nähtävissä hahmotelma, joka auttaa ymmärtämään järjestelmien välisiä suhteita. Kuvassa 4.1 keskipisteenä oleva sisäilmasto pyritään luomaan miellyttäväksi optimoimalla sisäilmastoon vaikuttavien tekijöiden keskinäiset vaikutukset mahdollisimman energia- ja kustannustehokkaalla tavalla.



**Kuva 4.1.** Järjestelmien väliset suhteet. [9]

Luvussa 2 esitettyjen energiankulutusjakaumien pohjalta valitut järjestelmät sekä niiden elinkaarikustannuksiin vaikuttavat tekijät esitellään seuraavissa alaluvuissa. Lisäksi esitellään aurinkosähköjärjestelmän tekniikkaa ja soveltumista hyödynnettäväksi kaupan kiinteistöissä. Lämmitysjärjestelmään liittyy lämmönjakotapa sekä ilmanvaihto, joten myös näiden järjestelmien toimintaa sekä kustannusrakennetta käydään läpi.

### 4.1 Lämmitysjärjestelmä

Lämmitysjärjestelmä on kokonaisuudessaan monimutkainen ja muihin järjestelmiin sidoksissa oleva, joten laskennan yksinkertaistamiseksi on kustannusseurannassa eriteltyjä tietoja yhdistetty ja näin ollen mahdollistettu vertailu erilaisten järjestelmien



kesken. Varsinkin suuremmissa kiinteistöissä on käytössä useampia järjestelmiä, mutta laskennassa käsittelemme vain päälämmitysmuotoja, joita ovat kaukolämpö, maalämpö ja sähkölämmitys. Lämmitysjärjestelmien kohdalla investoinnin suuruuteen vaikuttavat tekijät vaihtelevat järjestelmän mukaan.

Kaukolämpöverkkoon liittyminen maksaa asiakkaalle tehontarpeen ja käyttöpaikan mukaan aiheutuvan liittymismaksun, joka vaihtelee kulloisenkin palvelun tarjoajan omien hinnastojen mukaisesti. Liittymismaksu sisältää sopimustehon ja liitännän osuudet tiettyyn työmäärään asti. Käyttöpaikan ollessa kauempana lämpöverkosta tulee lisäksi ylimääräistä kaivausmaksua, joka on palvelun tarjoajan määrittelemä. Sopimusteho määritellään niin sanotun sopimusvesivirran avulla, joka määräytyy suurimman liukuvan tunnin aikaisen lämpötehon mukaan. Liitännäkustannus muodostuu putkiyhteyden rakentamisesta verkon ja käyttöpaikan välille. Laskennassa ei oteta kantaa käyttöpaikan sijaintiin, joka voi rajoittaa kaukolämpöverkkoon liittymistä ja vaikuttaa liittymismaksuihin vaan oletetaan liittymisen olevan mahdollista. Lisäksi liittymisen hintatieto on muokattavissa, mikäli tarkka paikkakohtainen tieto on saatavilla. Laskennassa käytetään tilausvesivirtaan perustuvan liittymismaksun oletusarvona  $5300 \text{ €/m}^3/\text{h}$ . Muina kaukolämpöjärjestelmän investointikustannuksina käytetään sisäisessä kustannusseurannassa eriteltyjä putki- ja ilmanvaihtourakoiden pinta-alakohtaista hintaa, joka on keskimäärin lähikauppa ja supermarket kokoluokassa  $120 \text{ €/m}^2$ . Liikenneasemalle vastaava hinta on noin 150 euroa neliöltä, hypermarketeista vastaavan järjestelmän hintatietoa ei ole saatavilla. Kaukolämpöasiakkaan maksamat käyttökustannukset koostuvat useimmiten kiinteästä sopimustehosta riippuvasta kuukausi- tai vuosikohtaisesta maksusta sekä käytön mukaan määräytyvästä energiamaksusta. Laskennassa tarkasteltujen kiinteistöjen kohdalla kaukolämpöliittymien liittymismaksuissa oli huomattavia eroja, jotka selittyvät osaltaan sekä sijainnin että kiinteistön energiankulutuksen ja mahdollisten rinnakkaisten lämmitysjärjestelmien vaihteluilla. Myös kaukolämpöasiakkaat käyttävät sähköä, joten kaukolämpöliittymän lisäksi alkuinvestointeihin lasketaan kiinteistön sähköliittymä, jonka kustannusten määräytyminen käydään läpi sähköliittymää koskevassa kappaleessa. [10, 11]

Kiinteistön sähköliittymän liittymiskustannus muodostuu osittain samoin perustein kuin kaukolämpöverkkoon liittyminen. Liittymismaksu määräytyy käyttöpaikan sijainnin sekä laskennallisen nimellistehon tai nimellisvirran (sulakekoko) mukaan. Sähköhintaa muodostuu ostohinnasta, siirtomaksusta sekä näihin liittyvistä veroista. Sähköverkkoyhtiöt toimivat paikallisesti ja hoitavat sähkönsiirron eikä siirtoa voi kilpailuttaa, mutta sähkön osto muualla toimivalta sähkönyyjältä on mahdollista. Liittymismaksut vaihtelevat huomattavasti riippuen kiinteistön sijainnista ja sähköntarpeesta. Liittymäkoot vaihtelevat 160 ja 1000 ampeerin välillä riippuen käyttöpaikan koosta ja sähköntarpeesta. Liittymäkoon kertoimena käytetään kulloisenkin lämmitysmuodon mukaan laskettua pinta-alaan suhteutettua kerrointa, jotka poikkeavat toisistaan eri lämmitysjärjestelmien yhteydessä sähköntarpeen muuttuessa. Laskennassa käytetään kaikkien lämmitysmuotojen kohdalla samaa

liittymishintaa, jonka oletusarvona pidetään 50 euroa ampeeria kohti. Sähköliittymän hinnoittelussa tehdään poikkeus hypermarket kiinteistöjen kohdalla, jotka muista kiinteistöryhmistä poiketen liitetään suoraan 20 kilovoltin keskijänniteverkkoon oman muuntajan välityksellä. Hypermarketin sähköliittymän hinta on arvioitava tapauskohtaisesti. Sähkölämmitteisten kiinteistöjen tapauksessa muiden investointikustannusten suuruus on kaukolämmitteisten kiinteistöjen tapaan keskihinnaltaan 120 €/m<sup>2</sup> vaihteluvälin ollessa 70 – 160 €/m<sup>2</sup>. Sähkölämmitystä päälämmitysmuotona käytetään vain lähikaupoissa ja supermarketeissa. [12]

Kerättyjen kustannustietojen mukaan maalämmön alkuinvestointi on kaukolämpöä ja sähkölämmitystä suurempi. Maalämpöjärjestelmän korkea hinta selittyy osittain kalliilla järjestelmällä ja porauskustannuksilla, mutta myös urakkakustannusten osuus on suurempi sähkö- ja kaukolämpöjärjestelmiin verrattuna. Investointikustannuksena käytetään kauko- ja sähkölämmityksen tapaan eriteltyjä putki- ja ilmanvaihtourakoiden kustannuksia. Maalämmön osalta urakoiden investointikustannus on noin 200 €/m<sup>2</sup> koskien lähikauppa ja supermarket -kokoluokkia. Liikenneasemien kohdalla vastaavat kustannukset ovat keskimäärin 300 €/m<sup>2</sup> ja hypermarketissa 75 €/m<sup>2</sup>. Varsinkin suuremmissa kiinteistöissä, joissa energiantarve on suuri, porakaivoja tarvitaan useampi kappale ja lukumäärän kasvaessa koko järjestelmän investointikustannukset voivat nousta huomattavasti. Porauskustannukset asettuvat uusissa kohteissa koekaivon porausten perusteella noin 30 euroon metriä kohti kaivon syvyyden ollessa 300 m. Maalämpöä ei ole kannattavaa mitoittaa vastaamaan kiinteistön suurinta lämpötehoa vaan mitoittamalla järjestelmä kattamaan 60 – 80 % maksimitehon tarpeesta voidaan lämpöpumpulla tuottaa jopa 95 % vuotuisesta lämpöenergiasta. Täydelle teholle mitoittaminen kasvattaa porauskustannuksia sekä tarvittavan järjestelmän kokoa ja hintaa. Kulutushuippujen aikana lisälämpöä voidaan tuottaa varajärjestelmänä toimivalla sähkö- tai kaukolämmöllä. Näin toimiessa tulevat varalämpöjärjestelmän liittymis- ja käyttökustannuksetkin pienenemään tehontarpeen pienentyessä. Sähköliittymäkustannuksen suuruus huomioidaan maalämpöjärjestelmän alkuinvestointeihin. Työ- ja elinkeinoministeriö tukee uusiutuvan energian investointeja ja myös lämpöpumppujärjestelmät kuuluvat tuen piiriin. Niille on haettavissa 15 % tuki hyväksyttävistä kustannuksista. [13, 14]

## 4.2 Lämmönjako

Lämmönjakotavan kustannuslaskenta käsittää variaatioita käytettävien lämmönlähteiden ja lämmönjakotapojen perusteella. Kaikkia mahdollisia variaatioita ei sisällytetä mukaan laskentaan vaan tarkastellaan todennäköisimpien sekä jo toteutuneiden vaihtoehtojen kustannuksia. Eri vaihtoehdot ovat näin ollen kaukolämpö lattia- tai ilmalämmityksenä, sähkölämmitys ilmanvaihdon välityksellä sekä maalämpö lattia- ja ilmalämmityksen yhteydessä. Toteutuneiden kohteiden perusteella ei voida määrittää yksiselitteisiä hintoja kullekin vaihtoehdolle. Tämä johtuu osaltaan kustannuslitteroinnin poikkeavista erittelyistä sekä satunnaisesta vaihtelusta kohteittain.

Vertailu eri lämmönjakotapojen investointikustannuksille tehtiin laskemalla yhteen putki- ja ilmanvaihtourakoihin liittyvät kustannukset. Taulukossa 4.1 kootaan yhteen sekä lämmitysjärjestelmiä että lämmönjakotapaa käsiteltäessä käytettävät kustannukset.

**Taulukko 4.1.** Putki- ja ilmanvaihtourakoiden keskimääräiset neliöhinnat. [15]

|                           | Lähi-<br>kauppa | Super-<br>market | Hyper-<br>market | Liikenne-<br>myymälä |
|---------------------------|-----------------|------------------|------------------|----------------------|
| Sähkölämmitys             | 156,00 €        | 105,00 €         |                  |                      |
| Maalämpö lattialämmitys   |                 | 193,00 €         |                  | 324,00 €             |
| Maalämpö ilmalämmitys     | 215,00 €        |                  | 74,00 €          | 214,00 €             |
| Kaukolämpö ilmalämmitys   | 112,00 €        | 118,00 €         |                  | 149,00 €             |
| Kaukolämpö lattialämmitys |                 | 120,00 €         |                  |                      |

Lämmönjakotavan kohdalla laskentaan ei huomioida sähkö- ja lämpöliittymämaksuja eikä maalämmön porauskustannuksia. Taulukosta 4.1 on nähtävissä maalämpöön liittyvien putki- ja ilmanvaihtourakkakustannusten olevan merkittävät, mikä nostaa maalämmön yhdistettynä lattialämmitykseen kalleimmaksi vaihtoehdoksi. Muiden vaihtoehtojen keskihinnat asettuvat supermarket ja lähikauppa kokoluokassa 120 €/m<sup>2</sup> tuntumaan vaihteluvälin ollessa noin 100 – 160 €/m<sup>2</sup>. Liikenneasemien putki- ja ilmanvaihtotöiden suuruudet poikkeavat merkittävästi muista kustannusten noustessa jopa yli 300 €/m<sup>2</sup>. Tarkasteltaessa pelkkiä ilmanvaihto- tai putkiurakoita havaitaan putkikustannusten olevan suurempia lattialämmitys- ja kaukolämpökohteissa sekä vastaavalla tavalla ilmalämmityksen osalta, joskin erot ovat pieniä. Ilmanvaihdollisen lämmityksen kohdalla kustannuserot sähkö- ja kaukolämmön välillä tulevat juuri putkiurakoiden eroista ilmanvaihtourakoiden ollessa keskimäärin yhtä suuria. [4, 15]

### 4.3 Ilmanvaihto

Henkilömääräperusteisen mitoituksen tarkoituksena on pyrkiä pienentämään energiakustannusten lisäksi myös järjestelmän investointikustannuksia. Tarpeet täyttävän ilmanvaihtokoneen valinnan perusteena käytetään kiinteistön tulo- ja poistoilmavirtojen laskennallisia mitoitusilmavirtoja. Ilmanvaihtokoneet luokitellaan asteittain ilmavirtojen perusteella lähtien 1,0 m<sup>3</sup>/s koneesta päätyen 10 m<sup>3</sup>/s koneisiin. Hinnaston mukaan koneiden investointikustannukset lähtevät 1,0 m<sup>3</sup>/s koneen 13600 eurosta päätyen 10 m<sup>3</sup>/s koneen 49600 euroon. Ilmanvaihtojärjestelmän investointikustannus riippuu mitoitusilmavirrasta ja tarvittavien koneiden määrästä. Suurien kiinteistöjen ja ilmalla lämpiävien kiinteistöjen tapauksissa koneita voidaan tarvita useita ja näissä tapauksissa laskennassa käytetään halvimman kokonaiskustannuksen tuottavaa koneiden yhdistelmää. [2, 3, 16]

#### 4.4 Kylmäjärjestelmä

Kylmäjärjestelmän hankintahinta koostuu kahdesta pääasiallisesta komponentista, kylmäkoneikosta ja kalusteista. Koneikon hankintahintaan vaikuttaa järjestelmältä vaadittava kokonaisteho, mutta myös käytettävällä tekniikalla on merkitystä. Kalusteissa hintaan vaikuttaa kansitus, joita suositaan uudemmissa liiketiloissa myös plus-puolen kalusteissa. Pakkaskaapit ja -altaat ovat suurelta osin kansitettuja myös vanhemmissa järjestelmissä. Plus-puolen kalusteilla tarkoitetaan kylmäsäilytyskaappeja ja -altaita, joissa säilytetään esimerkiksi maitotuotteita. Järjestelmien kokonaiskustannuksia vertailtaessa kokonaan kansitettu hiilidioksidi-järjestelmä osoittautui metrihinnaltaan kalleimmaksi. Laskentaan mukaan otettiin myös plus-puolen kalusteiltaan kansittamaton hiilidioksidi-järjestelmä, jonka hintaeroksi kansitettuun järjestelmään arvioitiin 300 €/m. Ääritapauksissa, joissa verrataan kokonaan kansittamatonta perinteistä järjestelmää kansitettuun hiilidioksidi-järjestelmään on metrihintojen vaihteluväli noin 3000 – 4600 €/m. Kokonaan kansitetun synteettistä kylmäainetta käyttävän järjestelmän ja hiilidioksidi-järjestelmän hintavertailua piti vähäisen otannan takia tehdä eri kiinteistöryhmien välillä. Taulukossa 4.2 on esitetty uusien kannellisten kylmäjärjestelmien hintavertailu toteutuneiden kohteiden kustannustietojen pohjalta. Kustannuksista on vähennetty kylmä- ja pakastehuoneiden osuus.

**Taulukko 4.2.** Nykyaikaisten kylmäjärjestelmien kustannukset. [15]

|                     | Kustannus/m <sup>2</sup> | Kustannus/kalustemetri |
|---------------------|--------------------------|------------------------|
| ABC Teivo           | 110,00€                  | 7 062,00 €             |
| Sale Mouhijärvi     | 422,00 €                 | 4 620,00 €             |
| Sale Asemantie      | 246,00 €                 | 3 935,00 €             |
| Sale Sorvantie      | 306,00 €                 | 4 065,00 €             |
| S-Market Sääksjärvi | 271,00 €                 | 4 576,00 €             |
| S-Market Lempainen  | 233,00 €                 | 4 444,00 €             |

Taulukossa 4.2 esitettyjen kohteiden kylmäjärjestelmät ovat hiilidioksidikäyttöisiä Teivossa, Sääksjärvellä, Mouhijärvellä sekä Lempoisissa. Koneikkojen ja kalusteiden hintoja ei kustannusseurannassa ole eritelty vaan lähes kaikissa tapauksissa kylmäjärjestelmälle on määritetty kokonaishinta, jonka pohjalta investointikustannusten laskenta on perustettava. Kalusteiden osuutta kokonaishinnasta voidaan arvioida kohteissa, joissa on tehty ainoastaan kaluston uusinta. Kyseisessä tapauksessa uudet kalusteet olivat kansitettuja ja niiden metrihinta asettui keskihinnaltaan lähelle 2700 euroa. Tämän pohjalta voidaan arvioida kalusteiden osuuden koko järjestelmän hinnasta olevan 50 – 70 %. [15]

Kylmäjärjestelmää käydään tarkemmin läpi sen merkittävyyden ja hyvän tietopohjan takia. Erilaisista järjestelmistä monipuolisimmin tietoa on saatavilla supermarketista, joista tieto on pienellä varauksella mahdollista johtaa muihin kiinteistöryhmiin. Supermarketeissa käytetään sekä synteettistä kylmäainetta että hiilidioksidia kylmäaineena käyttäviä järjestelmiä. Käytettävän tekniikan lisäksi eri järjestelmävariaatioita tulee kylmäkalusteiden varustuksen mukaan, joita on käytössä kolmea erilaista. Kokonaan sekä plus-puolelta että pakaste-puolelta kansitettu, plus-puolelta avoin sekä kokonaan avoin järjestelmä. Kokonaan avoimia järjestelmiä ei nykyisin enää oteta käyttöön. Laskennassa huomiotta jäävä vaihtoehto koko järjestelmän uusimiselle on pelkkien kalusteiden uusiminen, josta on myös saatavilla kustannustiedot. Taulukko 4.3 kokoaa kaikkien supermarketissa käytössä olevien järjestelmävaihtoehtojen hintatiedot.

**Taulukko 4.3.** Supermarketeissa käytettävien kylmäjärjestelmien kustannukset kalustemetriä kohti. [15]

|                     | Synteettinen kylmäaine | Hiilidioksidi kylmäaine |
|---------------------|------------------------|-------------------------|
| Kokonaan kansitettu | 3800 €                 | 4500 €                  |
| Avoin plus- puoli   | 3600 €                 | 4200 €                  |
| Kokonaan avoin      | 3300 €                 | -                       |
| Kalusteiden uusinta | 2700 €                 | -                       |

Taulukossa 4.2 esitetty kustannus plus- puolelta avoimelle hiilidioksidi- järjestelmälle on arvio, muut kustannukset ovat toteutuneita ja niitä käytetään elinkaarilaskurin oletustietoina. Kylmäjärjestelmään kuuluvat myös kylmähuoneet, joiden keskiarvoisena hintana supermarketissa käytetään 136 €/m<sup>3</sup>. Kokonaisinvestoinniksi tulee 2000 m<sup>2</sup> suuruisessa kiinteistössä 400000 – 535000 €, riippuen käytettävästä tekniikasta ja kalusteiden varustelusta. [15]

Investointikustannuslaskenta perustuu kiinteistön pinta-alaan suhteutettuun kalusteiden keskimääräiseen yhteismetrimäärään kussakin kiinteistöryhmässä. Hypermarkettien kohdalla laskentapinta-alana käytetään kaupan kokonaispinta-alan sijasta päivittäistavara-alueen pinta-alaa. Pinta-aloihin suhteutettuna kussakin kiinteistöryhmässä on muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta hyvin vähän toisistaan poikkeava määrä kylmäsäilytystiloja. Lähikauppojen kohdalla kylmämetrejä on hieman enemmän verrattuna super- ja hypermarketteihin kun taas liikennemyymälöissä pinta-alaan suhteutetut kalustemetrit ovat vähäisempiä. Toisaalta liikenneasemien marketit ja lähikaupat vastaavat hyvin pitkälti toisiaan, mikäli ei huomioida kylmähuoneiden määrää. Hypermarketeissa ja liikennemyymälöissä kylmähuoneiden pinta-alaan suhteutetut tilavuudet ovat suurempia kuin pienemmissä marketeissa.

## 4.5 Valaistus

Valaistusinvestointeja laskettaessa huomioidaan ainoastaan valaisinyksiköistä apulaitteineen aiheutuvat investointikustannukset olettaen, että eri vaihtoehtojen asennuskustannukset ovat samat eikä vertailu niiltä osin tuo eroja elinkaaren aikaisiin kustannuksiin. Laskennallisesti saatuja tuloksia verrataan jo toteutuneeseen hankkeeseen, jossa supermarket-kiinteistön yleisvalaistuksena käytetään LED-valaistusta. Tämän kohteen tiedoilla on mahdollisuus tehdä käytäntöön pohjautuvia kustannuslaskelmia myös muihin kohteisiin hyödyntäen valaisinmäärää, valotehokkuutta sekä pinta-alaa. Ylläpitokustannukset lasketaan lampputyypin käyttöiän mukaan käyttäen LED-lampun käyttöikä 50000 tuntia ja T5-loisteputken käyttöikä 20000 tuntia. Valaistuslaskentaan huomioidaan vain myymälätilan aiheuttamat valaisinkustannukset, koska muiden tilojen valaistuksella on kokonaistarkastelussa vähäisempi osuus. Tämän hetken hintatietojen mukaan T5-valaisinyksikkö maksaa 65 €/kpl ja LED yksikkö 85 €/kpl. Valaisinten määrä saadaan yhtälön 4.1 mukaan.

$$N = \frac{E_{vv} \cdot A}{\phi \cdot \beta \cdot \eta}, \quad (4.1)$$

missä  $N$  on valaisinten kappalemäärä,  $E_{vv}$  on valaistusvoimakkuus,  $A$  on pinta-ala,  $\phi$  on yhden valaisinyksikön yhteenlaskettu valovirta,  $\beta$  on valaistuksen alenemakerroin ja  $\eta$  on valaistushyötysuhde. Alenemakerroin kuvaa valaistuksen tehoon heikentävästi vaikuttavien tekijöiden, kuten tilan likaisuuden vaikutusta ja valaistushyötysuhde kuvaa tilan valaistusominaisuuksien vaikutusta valaistukseen esimerkiksi tilan yhtenevyyden tai pintojen heijastuksen mukaan. Alenemakertoimen ja valaistushyötysuhteen tulona voidaan käyttää tässä tapauksessa arvoa 0,5. LED-valaisimen valovirta on 7250 lm ja yhden T5 lampun valovirta 3600 lm. Valaistusvoimakkuuden arvona käytetään 650 lx. Teoreettiselle laskennalle vertailukohtana käytettävän toteutuneen LED-valaistusjärjestelmän valaistusvoimakkuudeksi on mitattu 900 lx. Myös toteutuneen kohteen valotehokkuus on hieman parempi kuin teoreettisella laskennalla saadaan. [15, 17, 18]

## 4.6 Aurinkosähkö

Aurinkosähköjärjestelmän investointikustannuksista ei ole saatavilla riittävästi yrityksen sisäistä kustannustietoa, että laskenta voitaisiin perustaa kokonaan sen pohjalle. Aiheesta on olemassa kuitenkin kattavasti tutkimuksia ja tietoa, jota voidaan soveltaen käyttää hyödyksi. Antti Takalan diplomityön mukaan suurten aurinkosähköjärjestelmien verollinen hinta asettuu asennuksineen 1,7 €/W tuntumaan. Tapauskohtaisesti kokonaiskustannuksiin vaikuttaa asennustyölle laskettava osuus, joka riippuu rakennuksen kattotyypistä, -materiaalista ja tasakaton tapauksessa kiinnitysratkaisusta. Nykyisillä paneelien hinnoilla kuitenkin noin puolet koko järjestelmän kustannuksista koostuu paneelien kustannuksista. Aurinkosähköjärjestelmät ovat pitkäikäisiä ja

varmatoimisia, mutta järjestelmäkoon kasvaessa lisääntyy myös mahdollisesti vikaantuvien komponenttien määrä ja näin ollen järjestelmien huoltotyö on usein ulkoistettu. Ulkoistetulle huollolle voidaan laskea koituvan kustannuksia vuodessa 0,5 – 1 % verran investointikustannuksesta, jolloin laskuun sisältyy yleensä järjestelmän käyttöiän puolivälissä vaihdettava invertteri. Tässä työssä laskemme invertterin uusinnan 15 käyttövuoden jälkeen kiinteällä 0,2 €/W hinnalla. Invertteri on teoriassa koko järjestelmän ainut kallis kertaluontoinen ylläpitokustannus koko käyttöiän aikana. Tässä työssä oletetaan aurinkopaneeleiden asennuskohteeksi rakennuksen katto sekä tehdään myös olettaimus, että asennuskulma ja paneelien asennustiheys ovat optimaalisia niin, ettei varjostuksia pääse syntymään. Näin ollen oletetaan hyödynnettävän kattopinta-alan riittävän kulloisessakin tapauksessa. Mikäli lasketaan 1 kW tehoa tuottavan paneeliston vaativan 10 neliömetrin alan, tällöin 100 kW:n järjestelmä vaatisi katolta 1000 neliömetriä vapaata kattopinta-alaa. Suomessa on tällä hetkellä toiminnassa neljä kappaletta yli 100 kW:n voimaloita, joten voidaan olettaa, ettei kattopinta-ala rajoita mahdollisten voimaloiden suunnittelua. Aurinkosähköjärjestelmille on haettavissa investointitukea uusiutuvan energian käyttöönoton kannustamiseksi. Tuki on suuruudeltaan maksimissaan 30 % investointikustannuksista. [19, 20]

## 5 ENERGIALOUS JA ELINKAARIKUSTANNUKSET

### 5.1 Lämmitysjärjestelmä

Energiankulutuksen laskenta perustuu mitatuille kaukolämmön kulutuksille, jonka mukaan lämpöenergiaa kuluu lähikauppa ja supermarket kokoluokissa vuoden aikana noin 100 kWh/m<sup>2</sup> riippuen lämmönjakotavasta, joiden välillä on pieniä eroja. Hypermarketeissa ja liikennemyymälöissä vastaava luku on noin 60 yhden liikennemyymälän poiketen muista käyttäen lämpöenergiaa jopa 360 kWh/m<sup>2</sup>. Kaukolämmön energiakustannukset lasketaan yhtälön 5.1 mukaan kulutetun energian, lämpöenergian hinnan ja myymälän pinta-alan tulona.

$$I_e = E \cdot H \cdot A , \quad (5.1)$$

missä  $E$  on kulutettu energia,  $H$  on energianhinta ja  $A$  on pinta-ala. Kaukolämmön hinta on tällä hetkellä noin 60 euroa megawattitunnilta, jonka lisäksi kaukolämmön käyttäjä maksaa kiinteää kuukausittaista sopimusvesivirtaan perustuvaa perusmaksua. Sähkölämmitteiselle kiinteistölle tehdään oletamus, jonka mukaan sähköä kuluu lämmitykseen suoraan edellä mainittujen lämpömäärien verran. Muuttamalla yhtälöön 5.1 energian hinnaksi sähkönhinta saadaan sähkölämmityksestä aiheutuva vuosittainen kustannus. Sähkön hinta Suomessa on noin 80 euroa megawattitunnilta. Maalämpöpumpun sähkönkulutus määräytyy lämmöntarpeen ja pumpun mitoituksen mukaan. Vuotuinen sähköenergiakustannus maalämpöpumpulle lasketaan yhtälön 5.2 mukaisesti.

$$I_{e,ml} = \frac{E \cdot H \cdot A \cdot \rho}{\theta} , \quad (5.2)$$

missä  $\rho$  on maalämpöpumpun kattama prosenttiosuus kiinteistön kokonaislämmöntarpeesta ja  $\theta$  on lämpöpumpun lämpökerroin. Lämpöpumpun kattama osuus riippuu pumpun mitoituksesta kiinteistön maksimi lämmitystehon tarpeen suhteen ja  $\rho \cdot n$  arvo saadaan D5 rakennusmääräyskokoelman liitteestä, joka määrittelee maalämpöpumppujen maksimitehomoitoituksen yhteyden kokonaislämmöntarpeeseen. Lämpöpumppua ei mitoiteta kattamaan rakennuksen maksimi energiantarvetta, vaan se tarvitsee lisälämmitysjärjestelmän. Tässä työssä lasketaan päälämmitysmuotona käytettävän maalämpöjärjestelmän vuotuiset energiakustannukset käyttäen lisälämmityksenä sähkölämmitystä. Liikennemyymälä- ja hypermarket -kiinteistöissä



on käytössä rinnakkaisia maalämpö ja kaukolämpöjärjestelmiä, joten elinkaari-laskurissa on huomioitu myös nämä vaihtoehdot kyseisissä kiinteistöryhmissä. Lisälämmöntarpeen osuus kokonaistarpeesta nähdään myös edellä mainitusta D5 rakennusmääräyskokoelman liitteestä. [21]

## 5.2 Lämmönjako

Lämmitysjärjestelmän energiakustannuksiin vaikuttaa lämmönjakotapa, joten käsittelemme niiden yhteisvaikutuksia energian kulutukseen ja sisällytämme laskuihin myös ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutuksen. Lattialämmityksen yhteydessä käytettävä maalämpö käyttää nesteen kierrättämiseen eli lämmönsiirtoon lämpökertoimensa mukaisen määrän sähköä. Tämän lisäksi kustannuksia aiheuttaa perusilmanvaihdon kuluttama sähkö, mutta koska ilmaa ei lämmitetä on ilmanvaihdon energiankulutus noin 30 kWh/m<sup>2</sup> lähikauppojen ja supermarkettien tapauksessa. Kaukolämpöä lattialämmityksen yhteydessä käytettäessä ilmanvaihdon sähkönkulutus pysyy samalla noin 30 kWh/m<sup>2</sup> tasolla. Hypermarkettien kohdalla lukema pienenee 20 kWh/m<sup>2</sup> tasolle ja liikennemyymälöiden kohdalla luku on noin 75 kWh/m<sup>2</sup>. Ilmanvaihdon sähkönkulutus ilmalämmitteisissä kohteissa, joissa lämmitykseen käytetään kaukolämpöä on noin 80 kWh/m<sup>2</sup>. Vastaava lukema sähkölämmitteisissä kiinteistöissä ilmanvaihdon sähkönkulutuksen osalta on 110 kWh/m<sup>2</sup>. [4]

Kaukolämpöenergiaa kuluu vuodessa lattialämmityksen yhteydessä noin 120 kWh/m<sup>2</sup>, kun taas ilmalämmitystä kaukolämmön yhteydessä käytettäessä lämpöenergiaa kuluu noin 80 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa. Maalämmön yhteydessä lämpöenergiaa oletetaan kuluvan 100 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa. Taulukko 5.1 esittää eri vaihtoehtojen sähkö- ja lämpöenergian tarpeet. [4]

**Taulukko 5.1.** Eri lämmönjakotapojen lämmön- ja sähköntarpeet lähikauppa ja supermarket kokoluokissa. [4]

|                                      | Maalämpö | Sähkölämmitys | Kaukolämpö |                    |
|--------------------------------------|----------|---------------|------------|--------------------|
| Lattialämmitys                       | 100      | –             | 120        | kWh/m <sup>2</sup> |
| Ilmalämmitys                         | –        | –             | 80         | kWh/m <sup>2</sup> |
| Ilmanvaihdon<br>sähköenergiankulutus | 30       | 110           | 30 - 80    | kWh/m <sup>2</sup> |

Kaukolämmön tapauksessa on muistettava, että taulukossa 5.1 esitetyistä energiantarpeista vain ilmanvaihdon kuluttama energia on sähköä ja riippuen lämmönjakotavasta 80 – 120 kWh/m<sup>2</sup> lämpöä. Vuosittainen energiakustannus kullekin vaihtoehdolle lasketaan yhtälön 5.3 mukaisesti.

$$I_e = \sum(E \cdot H) \cdot A , \quad (5.3)$$

missä  $E$  on vuosittainen energiankulutus pinta-alaa kohti,  $H$  on energianhinta ja  $A$  on pinta-ala. Summa operaattorilla tarkoitetaan yhtälössä 5.3 eri energiamuotojen kustannusten yhteenlaskua. Esimerkiksi kaukolämpöä käyttävän ilmalämmityksen yhteydessä käytetään sekä lämpöenergiaa että sähköenergiaa sekä vastaavasti niiden hintoja. Maalämpöpumpun sähkönkulutus määräytyy edellä esitetyn yhtälön 5.2 mukaisesti. Maalämpöjärjestelmän pumpun lisäksi huomioidaan myös ilmanvaihdon kuluttama sähköenergia, joka voidaan laskea yhtälön 5.3 mukaisesti sijoittamalla vuotuiseksi energiankulutukseksi tiedossa oleva ilmanvaihdon sähköenergiankulutus. Kaukolämmön halvempi hinta suhteessa sähköön tasaa energiakuluja sähkö- ja kaukolämmitteisten kiinteistöjen osalta, vaikka kaukolämpökohteissa määrällisesti kuluukin enemmän energiaa. Sähkölämmitteisissä kohteissa ei ilmanvaihdon osuutta erotella lämmitykseen kuluvaista energiasta vaan puhaltimen ja lämmityksen energiat esitetään yhdessä. [4, 8, 10]

### 5.3 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon mitoitusperusteen aiheuttaman energiankulutuksen muutoksen arviointi ei perustu mitattuihin energiankulutuksiin vaan laskelmiin ilmamäärien mahdollisista muutoksista ja ilmanvaihtokoneiden tehosta. Nykyisin käytäntönä on mitoittaa ilmanvaihdon ilmavirtojen suuruus kiinteistön pinta-alan mukaan, jolloin ilmavirta on  $2 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ . Jos kiinteistön lämmönjakotapana käytetään ilmalämmitystä, on mitoitusilmavirta  $4 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ . Henkilömääräperusteisessa mitoituksessa lukema on  $6 \text{ dm}^3/\text{s}$  jokaista kiinteistössä olevaa henkilöä kohti. Pinta-alan tai arvioidun henkilömäärän mukaan määräytyvä ilmavirran määrä vaikuttaa tarvittavan ilmanvaihtokoneen tehoon, joka on verrannollinen vuosittaiseen kulutukseen. Ilmanvaihtokoneen vuotuinen energiakustannus lasketaan D5 rakennusmääräyskokoelmassa esitetyn ilmanvaihtokoneen sähköenergiakulutuksen laskentakaavaa hyväksi käyttäen yhtälön 5.4 mukaan.

$$I_e = P_{SFP} \cdot \sigma \cdot t \cdot H , \quad (5.4)$$

missä  $\sigma$  on ilmanvaihtokoneen mitoitusilmavirta,  $t$  koneen vuosittainen käyttötuntimäärä,  $H$  sähköenergianhinta ja  $P_{SFP}$  on ilmanvaihtokoneen SFP-luku, joka kuvaa koneen ottaman sähkötehon suhdetta mitoitusilmamäärään. Ilmanvaihtokoneiden vuosittaisen käyttöajan pohjana käytetään ilmanvaihdon sähkökulutusseurannasta mitattuja tietoja. Vuosittaiseksi käyttöajaksi arvioidaan jokaisen mitoistavan kohdalla 4500 tuntia. Koneet eivät pyöri koko käyttöaikaa maksimitehollaan vaan riippuen lämmönjakotavasta niiden kierrosluvut vaihtelevat 50 – 80 % välillä. Kierrosluvun lasku ei ole suoraan verrannollinen käytettävään tehoon vaan teho muuttuu affiniteettisäännön mukaisesti kierroslukusuhteiden kolmannessa potenssissa yhtälön 5.5 mukaan.

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3, \quad (5.5)$$

missä  $P$  teho ja  $N$  kierrosluku. Koneiden käyntisuhteiksi Pirkanmaan osuuskaupan järjestelmähallinnasta on saatu 50 % pelkälle ilmanvaihtokoneelle ja 80 % ilmalämmityskoneelle. Vastaavat tehosuhteet ovat näin ollen 12,5 % ja 51,2 %. [21, 22]

## 5.4 Kylmäjärjestelmä

Kylmäjärjestelmän energiankulutus on käytännössä jatkuvaa. Vuorokauden ja vuodenajan mukainen tehon vaihtelu on nähtävissä kulutusmittauksessa. Laskennassa kuitenkin käytetään toteutuneita vuosittaisia kulutuksia, jotka kylmä- ja pakastemetrinen määrällä jakamalla saadaan käyttökelpoiseen muotoon. Tämä laskentamalli ei siis erottele plus- ja pakastepuolen kalustemetrejä eikä kylmä- ja pakastehuoneiden energiankulutusta vaan energiakulujen laskenta tapahtuu kalusteiden yhteismetrimäärään perustuen yhtälön 5.6 mukaan.

$$I_e = E \cdot \varphi \cdot A \cdot H, \quad (5.6)$$

missä  $E$  on vuotuinen energiankulutus kalustemetriä kohti,  $\varphi$  on kerroin, joka kertoo kuinka paljon kiinteistössä on kalustemetrejä suhteutettuna pinta-alaan,  $A$  on pinta-ala ja  $H$  sähköenergian hinta. Laskentamallin avulla vältetään keskimääräisten tehojen ja käyttötuntien arvioinneilta kulloisenkin kalustetyypin kohdalla. Määrääväksi tekijäksi jää ainoastaan kalustemetrinen määrä suhteessa kiinteistön pinta-alaan. Kylmäjärjestelmien kulutuslukemien vertailu toteutettiin siis jakamalla vuosittainen kokonaiskulutus plus- ja pakastekalusteiden yhteismetrimäärällä, jolloin lukuun sisältyy myös kylmäsäilytys huoneiden sähkönkulutus. Hiilidioksidi-järjestelmien kohdalla ei kuitenkaan ole vielä saatavissa kulutuslukemia kokonaisen vuoden ajalta, vaan laskuissa arvioidaan vuosittaista kulutusta mahdollisimman monen yksittäisen kuukauden perusteella. Arvioista on nähtävissä perinteistä kylmäjärjestelmää pienempi kokonaiskulutus, joka on nähtävissä taulukosta 5.2.

**Taulukko 5.2.** Kylmäjärjestelmien energiankulutus vuodessa [kWh/m]. [4]

|                 | CO <sub>2</sub> , kannet | R404, kannet | R404, kannet<br>pakasteissa | R404, avoin |
|-----------------|--------------------------|--------------|-----------------------------|-------------|
| Supermarket     | 2507                     | 3055         | 3388                        | 3876        |
| Lähikauppa      | 2629                     |              | 5274                        |             |
| Hypermarket     |                          |              | 3893                        |             |
| Liikennemyymälä | 4138                     | 5998         |                             |             |

Taulukosta 5.2 on nähtävissä otannassa käytetyt vaihtoehdot. Supermarket-kiinteistöjen kohdalla oli mahdollista saada kullekin kaluste- ja järjestelmätyypille keskiarvoiset lukemat kun taas muissa ryhmissä jouduttiin lähes poikkeuksetta käyttämään lähteenä ainoastaan yhden kiinteistön tietoja. Koska kulutuslaskenta perustuu kalustemetrimääriin, liikenneasemien kohdalla poikkeavat lukemat selittyvät marketteja suuremmalla kalustemetrimäärään suhteutetulla kylmä- ja pakastehuoneiden määrällä sekä poikkeavilla aukioloajoilla.

Esimerkkilaskelmaksi otetaan 2000 m<sup>2</sup> suuruinen supermarket, jossa laskelman mukaan tulisi olemaan 112 m kylmäkalusteita ja joiden kokonaiskulutus vuodessa yhdessä kylmähuoneiden kanssa on 280 – 434 MWh.

## 5.5 Valaistus

Valaistuksen energiakustannuslaskenta pohjautuu teorialtietoihin, joita verrataan hiljattain toteutettuun Toijalan S-marketin LED-valaistusjärjestelmään. Tämä toteutunut valaistus toimii pohjana energiakustannusten laskennalle, joka määräytyy yhtälön 5.7 mukaisesti.

$$I_e = P_v \cdot N \cdot t_v \cdot H , \quad (5.7)$$

missä  $P_v$  on yksittäisen valaisimen teho,  $N$  on valaisinten määrä,  $t_v$  valaistuksen käyttöaika ja  $H$  sähköenergian hinta. Käyttöaikana valaistukselle käytetään 4000 tuntia vuodessa ja kokonaisteho saadaan valaisinten määrän ja yksittäisen valaisimen tehon tulona. T5-valaisin koostuu kahdesta 35 W tehoisesta loisteputkesta ja LED-valaisin yhdestä 49 W:n putkesta. Kokonaisvalaisintehon avulla voidaan laskea valotehokkuus pinta-alaa kohti, jolloin toteutuneen kohteen tiedot ovat sovellettavissa myös muun kokoisiin kiinteistöihin. Toijalan S-marketissa uuden järjestelmän valotehokkuus on 7,8 W/m<sup>2</sup>, jolloin vuosittaiseksi energian kulutukseksi neliötä kohti saadaan noin 31 kWh. Valaistusvoimakkuuden oletetaan riittävän toteutuneen kohteen kokemusten perusteella myös korkeisiin tiloihin. [23, 24]

## 5.6 Aurinkosähkö

Potentiaalisissa aurinkosähkökohteissa sähkön pohjakulutus on niin suurta, kaikki tuotettu sähkö saadaan käytettyä itse, eikä sitä näin ollen tarvitse syöttää yleiseen jakeluverkkoon. Toisin kuin yksityiset taloudet, kaupat käyttävät energiaa paljon myös kesäisin ja suurin käyttö kohdistuu nimenomaan päiväaikaan, jolloin myös aurinkosähkön tuotto on suurimmillaan. Aurinkosähköjärjestelmän tuoton laskentaan on olemassa ilmaisohjelmia, joiden avulla voidaan tarkasti sijainnin mukaan vertailla erilaisten kennomateriaalien ja suuntauksien vaikutusta tuottoennusteeseen. Tässä työssä käytetään tuotannon ennustamiseen huipunkäyttöaikaa eli vuosittaista tuntimäärää, jolla aurinkosähköjärjestelmä tuottaa nimellistehollaan. Vuosittain saavutettava hyöty sähköenergiakustannuksissa lasketaan yhtälön 5.8 mukaan

$$I_e = P \cdot t_h \cdot H , \quad (5.8)$$

missä  $P$  on aurinkosähköjärjestelmän teho,  $t_h$  on huipunkäyttöaika ja  $H$  on sähköenergian hinta. Huipunkäyttöajan käyttö laskennassa sisältää oletuksen, että paneelit on suunnattu ideaalisesti. Huipunkäyttöaika määritellään vuosituotannon ja nimellistehon osamääränä, joka Etelä-Suomen olosuhteissa on 850 – 920 tuntia. Huipunkäyttöaika on pieni, mutta on huomioitava, että aurinkosähköjärjestelmän käyttökustannukset ovat lähellä nollaa, koska polttoaine on ilmaista, eikä ylläpito-kustannuksia juuri ole ja kaikki tuotettu sähkö vähentää suoraan ostettavan sähkön määrää. [25]

## 6 INVESTOINTILASKENTA

Kaikille kiinteistöryhmille suoritetaan toisiaan vastaavat laskutoimitukset, joiden muuttujina toimii kiinteistöryhmäkohtaiset energiantarpeet sekä vakiot, kuten esimerkiksi kylmäkalusteiden määrä suhteessa pinta-alaan. Jokaiselle kiinteistöryhmälle on oma Excel-laskenta taulukkonsa, johon on valmiiksi syötetty kutakin ryhmää koskevat perustiedot sekä kiinteistöryhmäkohtaiset vakiot. Kunkin taulukon etusivu, ”tulossivu” pitää sisällään syötekentän, johon käyttäjä syöttää haluamansa lähtötiedot. Lähtötietoja ovat

- Investoinnin pitoaika
- Nimelliskorko
- Sähkö- ja lämpöenergianhinnat
- Huoneiston pinta-ala
- Lämpöenergiantarve
- Inflaatio prosentti
- Energianhinnan muutosprosentti

Käytännössä käyttäjän syötettäväksi jää ainoastaan kiinteistön pinta-ala, jolloin ohjelma laskee eri järjestelmien kustannukset kyseiseen kiinteistöön ja piirtää kuvaajat elinkaaren aikaisten kustannusten muodostumisesta. Ilmanvaihtojärjestelmän laskentaan liittyvä kiinteistön henkilömäärän arviointi tulee myös syöttää lähtötietoihin ”ilmanvaihto” välilehdellä. Aurinkosähköjärjestelmän pitoajaksi on syötetty kiinteänä arvona 30 vuotta. Kutakin järjestelmää koskevia tietoja on mahdollista tarkastella ja muokata omilta välilehdiltään, mutta tämä ei laskennan kannalta ole tarpeellista. Muokkaus mahdollistaa esimerkiksi tarkkojen sähkö- ja lämpöliittymäkustannusten syötön. Supermarkettien ja lähikauppojen vertailu on suuremman otannan ja kiinteistöjen yhtenevyyden ansiosta helpompaa kuin hypermarkettien ja liikenneasemien, koska niiden otannan vähyyden takia joudutaan eri järjestelmävaihtoehtojen hintojen muodostamiseksi käyttämään arvioita monissa laskennan osissa. Tämän takia laskennan tuloksia käydään tässä luvussa kattavasti läpi vain supermarket-kiinteistöjen osalta. Ylläpitokustannuksia ei laskennassa oteta huomioon valaistuksen uusimisesta sekä aurinkosähköjärjestelmän invertterin uusimisesta aiheutuvia kustannuksia lukuun ottamatta. Muiden järjestelmien ylläpitokustannusten oletetaan olevan toistensa kaltaiset eivätkä ne siten vaikuta kannattavuuslaskelmiin. Lämpö- ja sähköenergian hinnankehityksen (eskalaation) oletetaan olevan sama. Seuraavissa alaluvuissa pohditaan myös laskentaan vaikuttavien

tekijöiden sekä laskentamallin käytännönläheisyyttä sekä esitetään supermarket - kiinteistöryhmän esimerkkilaskelmat kuvaajineen käyttäen lähtöarvoina

- Pinta-ala 2000 m<sup>2</sup>
- Lämpöenergian tarve 100 kWh/m<sup>2</sup>a
- Sähköenergian hinta 0,10 €/kWh
- Lämpöenergian hinta 0,055 €/kWh
- Nimelliskorko 4,00 %
- Inflaatio 1,00 %
- Eskalaatio 2,00 %.

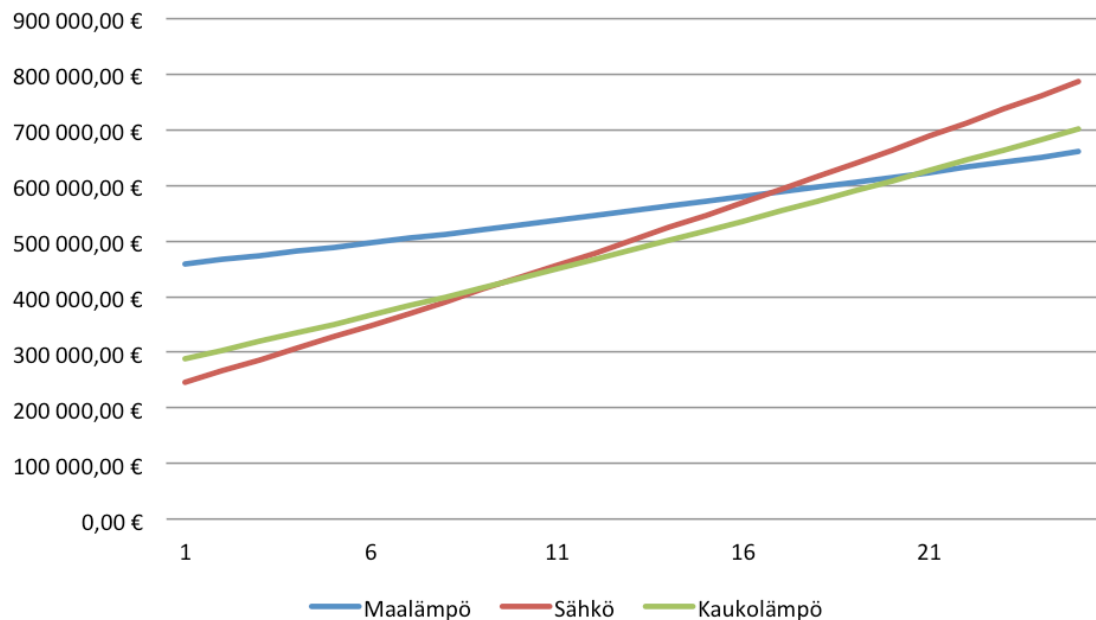
Kyseisillä arvoilla energiakustannusten koroksi saadaan 0,95 % ja reaalikoroksi 2,97 %. Nykyarvojen laskennassa (kaavat 3.1 – 3.5) kullekin järjestelmälle käytetään erikseen ilmoitettavaa ajanjaksoa.

## 6.1 Lämmitysjärjestelmä

Kolmesta käsitellystä päälämmitysmuodosta hankintakustannuksiltaan edullisin on sähkölämmitys. Arvioinnissa käytettyjen putki- ja ilmanvaihtotöiden kustannukset vaikuttavat eniten eri lämmitysmuotojen investointikustannuksiin. Sähkölämmitykselle laskettiin muuksi investointikustannukseksi ainoastaan sähköliittymän aiheuttamat kustannukset. Kaukolämpö on investointikustannuksiltaan toiseksi halvin. Ero sähkölämmitykseen selittyy hieman kalliimmilla putki- ja ilmanvaihtotöiden kustannuksilla sekä kaukolämpöverkkoon liittymisen aiheuttamilla liittymismaksuilla. Kaukolämpökohteen sähköliittymä on hieman pienempi kuin sähkölämmitteisessä kiinteistössä, joten myös liittymiskustannus on lähtökohtaisesti pienempi. Tutkimuksessa mukana olleiden kohteiden liittymähintojen vaihteluväli on muutamista sadoista euroista kymmeniin tuhansiin, joten kustannuslaskentaa tehtäessä liittymismaksu on hyvä käsitellä tapauskohtaisesti. Maalämpöä käytettäessä putki- ja ilmanvaihtotyökustannukset nousevat muihin lämmitysmuotoihin nähden huomattavasti, mikä on monimutkaisemman teknisen toteutuksen takia ymmärrettävää. Kustannuksia kasvattaa myös lämpökaivojen porauskustannukset, jotka mitoituksista riippuen ovat noin 10 – 20 % kaikista maalämpöjärjestelmän kustannuksista.

Maalämpöä käytettäessä energiakustannukset ovat noin kolmasosa verrattuna muihin lämmitysmuotoihin, mutta johtuen suurista investointikustannuksista maalämpö saavuttaa elinkaarikustannuksissa sähkö- ja kaukolämmön vasta 15 – 20 vuoden aikana, kun inflaation sekä energiakustannusten nousun oletetaan olevan vuosittain 2 % ja nimelliskoron 5 %. Energiakustannusten muutokseen vaikuttavan koron nousun aiheuttaa inflaation pienentyminen tai nimelliskoron nousu, jolloin maalämpöjärjestelmä tulee muita lämmitysmuotoja kannattavammaksi lyhyemmällä aikavälillä. Maalämpöjärjestelmälle mahdollisesti saatava uusiutuvien energiamuotojen 15 % suuruinen investointituki lyhentää maalämmön takaisinmaksuaikaa muihin

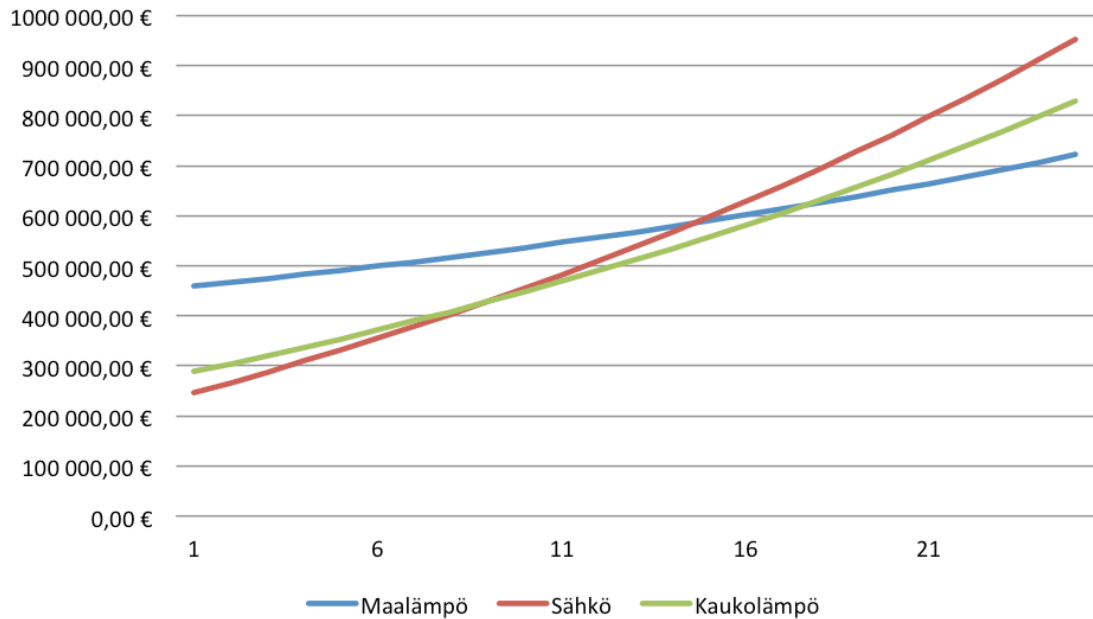
järjestelmiin nähden noin 3 vuodella. Kaukolämmön kustannuksia verrattuna sähkölämmitykseen kasvattaa sopimusvesivirtaan perustuva perusmaksu, joka tulee kuukausittain maksettavaksi käytetyn energian lisäksi. Edellä mainituilla laskennan arvoilla kaukolämpö ei saavuta kannattavuudessaan sähkölämmitystä, vaikka sen energiakustannukset ovatkin hieman pienemmät. Laskennassa tehdään maalämmön vaatimien lämpökaivojen ja tontin pinta-alan suhteen oletus, että kaikissa tapauksissa kiinteistön tontti on riittävän suuri täyttämään edellytykset lämpökaivojen poraukselle. Ylläpitokustannuksille ei laskettu arvoa tämän selvityksen puitteissa, vaan niiden oletetaan olevan kaikille järjestelmille samansuuruiset ja näin ollen elinkaaren aikaisiin kustannuksiin ei tulisi eroja tältä osin. Ylläpitokustannukset ovat kuitenkin lisättävissä laskentaohjelmaan. Kuvassa 6.1 esitetään esimerkkinä käytettävän 2000 m<sup>2</sup> suuruisen supermarketin eri lämmitysmuotojen kustannusten kertyminen 25 vuoden ajanjaksolla.



**Kuva 6.1.** Lämmitysmuotojen kustannusvertailu eskalaation arvolla 2 %.

Kuvasta 6.1 on nähtävissä maalämpöjärjestelmän heikko kannattavuus käytetyillä lähtöarvoilla. Sen kannattavuus paranee niissä tapauksissa joissa energiakustannusten korko kasvaa eli niissä tapauksissa, joissa energiakustannusten korko lähenee reaalikorkoa. On hyvä tiedostaa, että vaikka eskalaation kasvaessa energiakustannusten korko pienenee, niin kustannusten nykyarvo kuitenkin kasvaa. Kuvassa 6.2 esitetään laskelma, jossa eskalaationa käytetään 0 %, jolloin energiakustannusten koroksi tulee reaalikoron kanssa yhtenevä lukema 2,97 %.





**Kuva 6.2.** Lämmitysmuotojen kustannusvertailu eskalaation arvolla 0 %.

Kuvasta 6.2 nähdään energiakustannusten koron vaikutus eri järjestelmien kannattavuuteen. Energiakustannusten kasvaessa tulee maalämpö nopeammin kannattavammaksi suhteessa muihin vaihtoehtoihin. Kuvissa 6.1 ja 6.2 esitettyjen laskelmien nykyarvot 20 vuoden tarkastelujaksolla ovat yhtälöiden 3.1 – 3.5 mukaisesti

- Maalämmölle 587000 € ja 563000 €
- Sähkölle 589000 € ja 534000 €
- Kaukolämmölle 550000 € ja 501000 €.

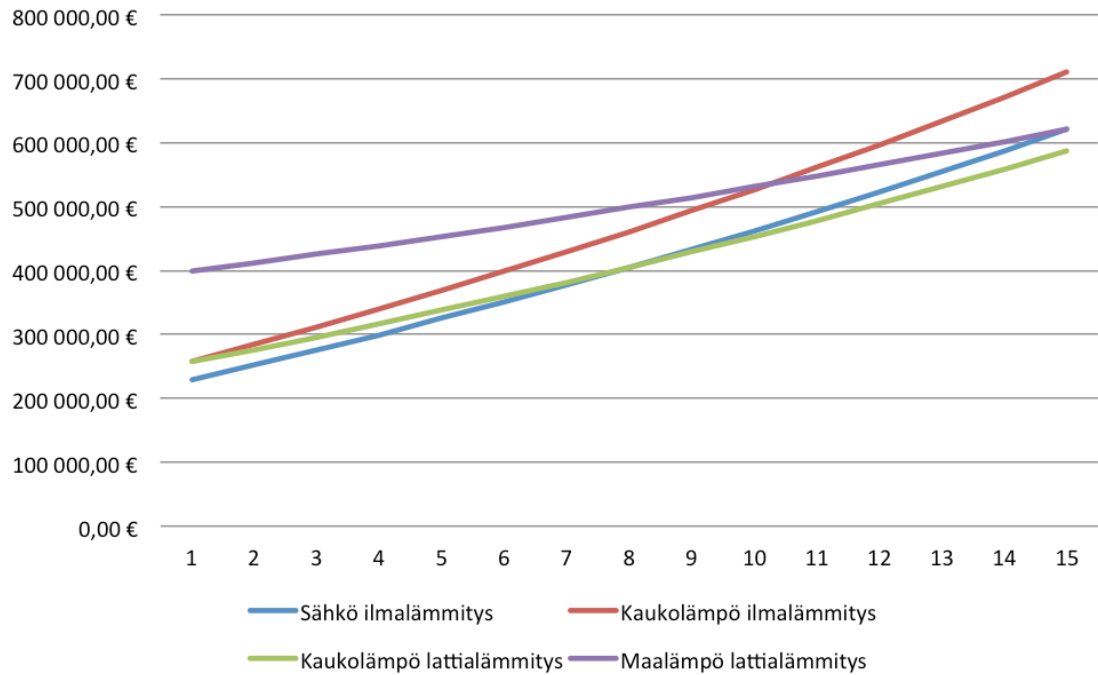
Lämmitysjärjestelmien vertailun suurimpana muuttujana energiakustannusten lisäksi ovat putki- ja ilmanvaihtotöistä aiheutuvat kustannukset, joissa voidaan kustannusseurannassa nähdä eri järjestelmien ja kiinteistöryhmien välillä yhteneväisyyttä. Esimerkiksi supermarketin ja lähikaupan maalämpöjärjestelmien investointikustannukset ovat hyvin lähellä toisiaan ja ne erottuvat selkeästi kaukolämpö ja sähkölämmityskohteiden kustannuksista. Kustannusten täydellinen kohdistaminen suoraan lämmitykseen ei ole täysin aukotonta, vaan työkustannukset sisältävät myös muualle kohdistuvia kuluja, joiden osuutta on käytännössä mahdoton selvittää. Myös kiinteistöjen erilaiset urakkasopimukset voivat aiheuttaa vääristymiä kustannusseurantaan. Energiakustannusten laskenta perustuu todelliseen lämpöenergian tarpeeseen ja malli sopiikin hyvin lähikauppojen ja supermarkettien vertailuun, joissa ei juurikaan käytetä päällekkäisiä lämmitysjärjestelmiä, kuten esimerkiksi maalämpöä ja kaukolämpöä. Hypermarketit ja liikenneasemat käyttävät päällekkäisiä järjestelmiä, joka vaikeuttaa huomattavasti yksinkertaisen laskentamallin muodostamista. Maalämpöpumpun mitoituksen muutoksella ei tällä laskentamallilla juurikaan ole vaikutusta investointikustannuksiin, koska järjestelmän koon muuttaminen vaikuttaa

ainoastaan porauskustannuksiin sekä lisälämmön tarpeeseen eikä määräävässä roolissa oleviin putki- ja ilmanvaihtotöiden kustannuksiin. Lämpökertoimen muutoksella on täysin sama vaikutus, sillä suuremman lämpökertoimen ansiosta lämpökaivoista tulee mitoituksen mukaisesti lyhyemmät ja porauskustannuksista pienemmät.

## 6.2 Lämmönjako

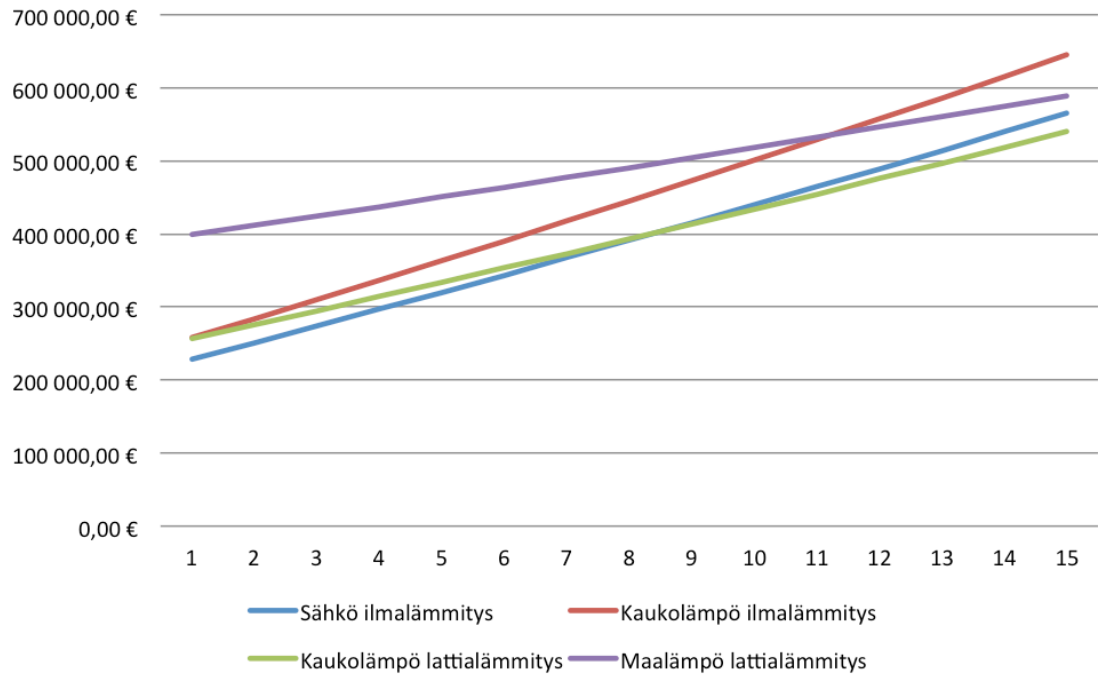
Lämmönjaon kustannukset vastaavat investointikustannuksiltaan lämmitysmuodon kustannuksia pois lukien maalämmön porauskustannukset sekä lämmitysmuotokohtaiset liittymäkustannukset. Sähkö- ja kaukolämmitteiset kiinteistöt ovat näin ollen lämmönjakoon liittyvien investointikustannusten osalta halvimpia. Tarvittava lämpöenergianmäärä vaihtelee lämmitystavan mukaisesti ja luvussa 5.2 esitettyjen energiankulutuslukemien muokkaaminen laskentaohjelman välilehdeltä mahdollistaa lämmitysmuotojen yksityiskohtaisemman vertailun. Kaukolämpöä käytettäessä ei ilma- ja lattialämmityksellä ole juurikaan eroa investointikustannuksissa. Kaukolämpöenergiaa kuluu lattialämmityksen yhteydessä enemmän kuin ilmalämmitteisessä kiinteistössä, mutta ilmanvaihdon sähkönkulutuksen pienentyessä mitoitustilamäärän pienentymisen takia tulee lattialämmitteinen kaukolämpöjärjestelmä ilmalämmitteistä halvemmaksi lähes koko elinkaaren ajalta. Sähkölämmityksen energiakustannukset vastaavat nykyisillä energianhinnoilla lattialämmitteisen kaukolämpökohteen energiakustannuksia, mutta tässä tapauksessa suuren sähkön- ja lämmönkulutusten erojen takia energianhintojen kehityksellä on suuri vaikutus kannattavuuteen. Esimerkiksi sähkönhinnan noustessa 2 sentillä kilowattitunnilta muuttuu kaukolämpöjärjestelmä kannattavammaksi alle 10 vuodessa. Maalämpö yhdistettynä lattialämmitykseen tulee muita järjestelmiä kannattavammaksi 15 – 20 vuoden kohdalla riippuen laskennan lähtöarvoista. Maalämmölle saatavan investointituen myötä kannattavuus aikaistuu noin viidellä vuodella.

Kuvassa 6.3 esitetään esimerkkikohteen eri lämmönjakotapojen kustannusten muodostuminen ensimmäisen 15 vuoden ajalta 0 % eskalaatiolla.



**Kuva 6.3.** Lämmönjakotapojen kustannusvertailu eskalaation arvolla 0 %.

Kuvasta 6.3 on nähtävissä maalämpöjärjestelmän kannattavuuteen eniten vaikuttava tekijä eli suuri investointikustannus. Lämmönjakotapoja vertailtaessa laskentaan ei huomioida lämpökaivojen porauskustannuksia, mikä edelleen kasvattaa investointikustannusta. Toisaalta muidenkaan järjestelmien kohdalla ei oteta huomioon erilaisia liittymismaksuja. Suorien kulmakertoimesta voidaan päätellä energiakustannusten suuruus eri järjestelmien välillä ja näin ollen maalämmön energiakustannusten nähdään olevan pienimmät. Ero energiakustannusten välillä muuttuu energianhinnan muuttuessa. Yksi skenaario energianhinnan muutokselle esitetään kuvassa 6.4, jossa esimerkkikohteen lämmönjakojärjestelmän kustannusten muodostuminen on laskettu eskalaation ollessa 2 %.



**Kuva 6.4.** Lämmönjakotapojen kustannusvertailu eskalaation arvolla 2 %.

Maalämpöjärjestelmän nähdään tulevan kannattavammaksi energian hinnan noustessa. Kuvia 6.3 ja 6.4 vastaavat eri järjestelmien nykyarvot esimerkki kiinteistöille 15 vuoden tarkastelujaksolla 0 % ja 2% eskalaatiolla ovat

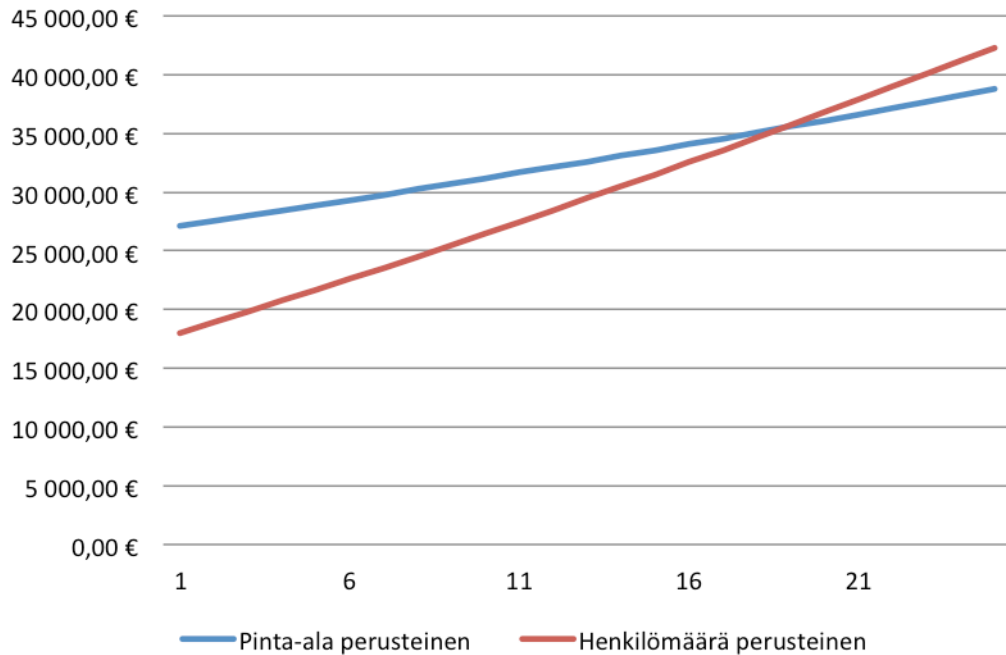
- Sähkö ilmalämmitys 474000 € ja 518000 €
- Kaukolämpö ilmalämmitys 540000 € ja 590000 €
- Kaukolämpö lattialämmitys 463000 € ja 500000 €
- Maalämpö lattialämmitys 538000 € ja 562000 €.

Lämmönjakoon kohdistuvien investointikustannusten kohdalla voidaan puhua samasta epävarmuutta aiheuttavasta tekijästä kuin lämmitysmuodon kohdalla. Putki- ja ilmanvaihtotöiden kustannukset ovat ainoat investointikustannukset lämmönjakotapoja vertailtaessa eikä hypermarkettien ja liikenneasemien kohdalla ole saatavilla tietoja kaikille mahdollisille lämmönjakovariaatioille. Lukujen arviointi suhteuttamalla supermarketeihin ei myöskään välttämättä tuota oikeita tuloksia kiinteistöjen erilaisuuden takia. Toisaalta sähkölämmityksen kustannuslaskentaa hypermarketin tai liikenneaseman kohdalla voidaan pitää turhana, koska tällaista vaihtoehtoa voidaan pitää käytännössä mahdottomana. Energiakustannusten vertailu pohjautuu todellisille kulutuksille, jotka lämmönjaon kohdalla ovat varsin hyvin saatavilla jokaisen kiinteistöryhmän kohdalla. Arvioita joudutaan kuitenkin tekemään tietyissä tilanteissa. Esimerkiksi lattia- ja ilmalämmityksen vertaaminen hypermarketeissa joudutaan perustamaan arvioihin, koska niissä käytetään vain

ilmalämmitystä eri lämmitysmuotojen yhteydessä eikä lattialämmityksen mittaustietoja näin ollen ole saatavissa.

### 6.3 Ilmanvaihto

Henkilömääräperustaisen ilmanvaihdon perusteeksi tilojen ilmanvaihtuvuudelle on määritetty raja-arvo 0,7, joka jokaisessa tilassa tulee täyttyä. Luku kuvaa vaihtuvan ilmamäärän suhdetta kiinteistön tilavuuteen. Laskenta suoritetaan tiedossa olevan henkilömäärän pohjalta, jolloin tilassa vaihtuva ilmamäärä ja sitä kautta ilmanvaihtokoneen koko muuttuu henkilömäärän mukaisesti. Affiniteetti -säännön mukaisesti ilmanvaihtokoneen teho muuttuu kierrosnopeuden kolmannen potenssin suhteen, joten pienikin ilmamäärän muutos vaikuttaa kustannuslaskennan tuloksiin. Henkilömäärän arvioinnilla on suuri vaikutus ilmanvaihtojärjestelmien keskinäisessä kannattavuusvertailussa. Henkilömääräperusteiseen mitoitukseen pohjautuva ilmanvaihtojärjestelmä on lähes poikkeuksetta hankintahinnaltaan halvempi kuin nykyisellä pinta-alamitoituksella määritetty järjestelmä, mutta tehon tarpeen kasvu edellä mainitulla tavalla muuttaa kannattavuutta erittäin herkästi. Henkilömääräperusteisen koneen pyöriessä suuremmalla nopeudella verrattuna perinteiseen koneeseen, kasvavat sen energiakulut ja siten nykymuotoinen mitoitus voi tulla kannattavammaksi. Asiakasmäärien pysyvyystietojen mukaan maksimitehoja tarvitaan vain noin 0,2 % koko vuosittaisesta käyttöajasta ja normaalin kävijämäärän pysyvyys ajallisesti on noin 70 % vuosittaisesta käyttöajasta eli konetta voitaisiin käyttää pienemmällä teholla, mikä taas pienentää energiakuluja. Esimerkiksi 2000 m<sup>2</sup> supermarketin ilmanvaihtokoneeksi riittää henkilömääräperusteisella mitoituksella 2 m<sup>3</sup> ilmanvaihtokone asiakasmäärän ollessa maksimissaan 330 henkilöä tunnissa. Tällöin pinta-ala perusteinen ilmanvaihtokone on 4 m<sup>3</sup> suuruinen ja vastaaviksi kulutuslukemiksi saadaan noin 9000 kWh ja 4300 kWh vuodessa. Edellä mainituilla arvoilla laskettuna perusilmanvaihdon kustannusten kertyminen on nähtävissä kuvassa 6.5.



**Kuva 6.5.** Perusilmanvaihdon kustannusvertailu.

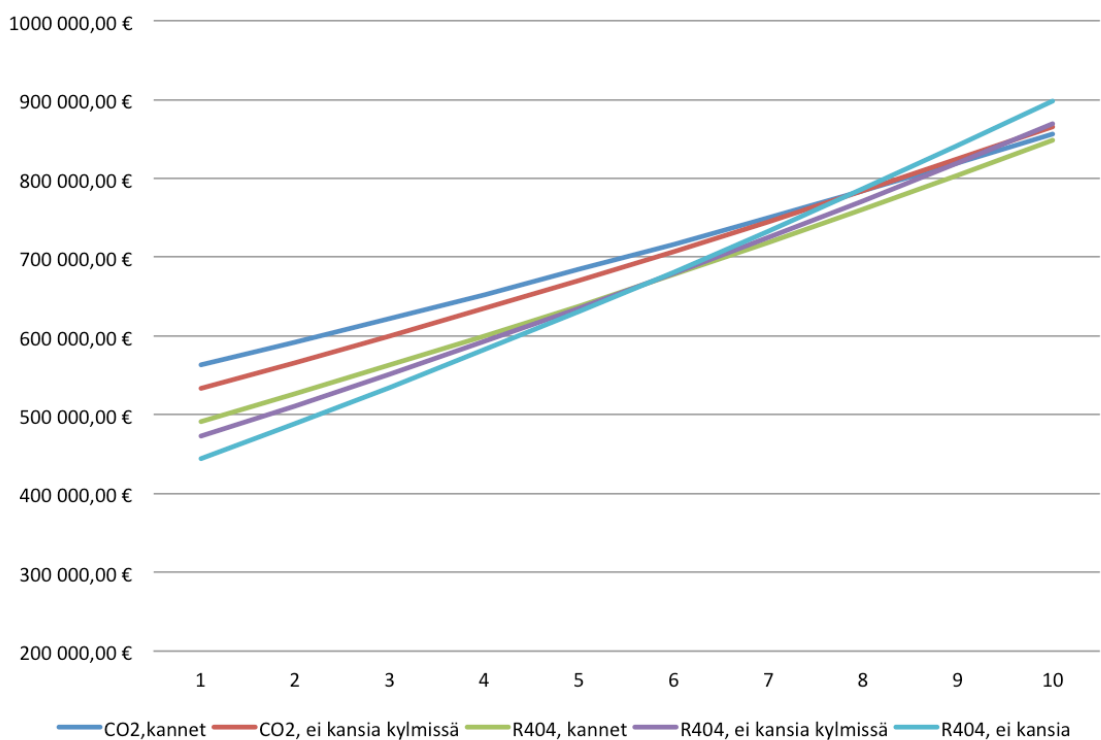
Perusilmanvaihdolla tarkoitetaan tässä tapauksessa ei lämmittäviä ilmanvaihtojärjestelmiä eli verrataan vain ilmaa kierrättävien koneiden mitoituksen vaikutusta kustannuksiin. Kuvasta on nähtävissä pinta-ala perusteisen ilmanvaihdon pienemmät energiakulut, jotka suuremmasta ilmanvaihtokoneesta huolimatta ovat pienemmät kuin henkilömäärän mukaan mitoitettulla koneella. Tämä johtuu affiniteettisäännön mukaisesta laskennasta.

Ilmanvaihdon mitoitusperusteen muuttamisesta seuraava elinkaari-kustannuslaskenta perustuu energiakustannusten osalta täysin teoreettiseen laskentaan, joka osoittaa ilmanvaihdon energiankulutuksen putoavan sekä uudella että nykyisellä mitoitusmenetelmällä erittäin pieneksi. Tämän aiheuttaa affiniteettisäännön mukaisesti kolmannessa potenssissa muuttuva ilmanvaihtokoneen tehontarve, joka muuttaa kulutuslukemaa erittäin herkästi. Kulutusmittausten mukaan ilmanvaihto kuluttaa suuria määriä energiaa toisin kuin laskennan tulokset osoittavat, joten kulutuslaskennan kohdistaminen ainoastaan ilmanvaihtokoneeseen ei vastaa täysin todellisuutta.

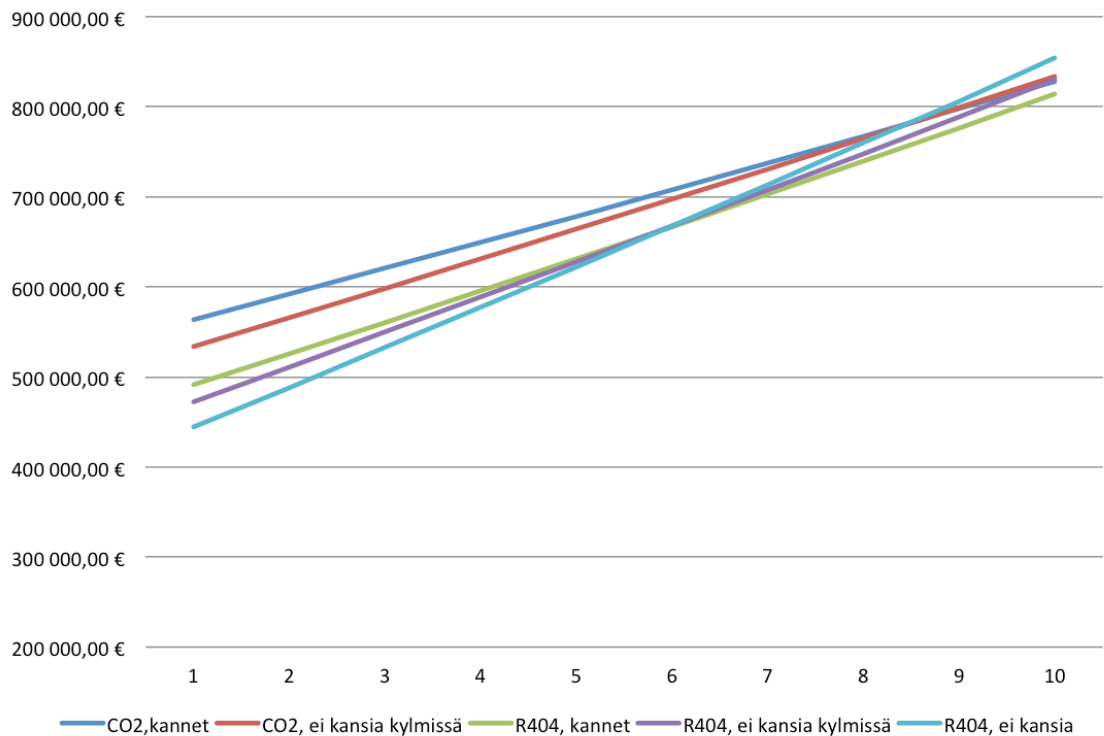
## 6.4 Kylmäjärjestelmä

Investointikustannuksiltaan kalleimmaksi osoittautuvat hiilidioksidia kylmäaineenaan käyttävät järjestelmät. Laskentaan on otettu mukaan myös plus-puolen kalusteiltaan kansittamaton järjestelmävaihtoehto, vaikka kyseistä järjestelmää ei nykyisiin kohteisiin olekaan asennettu. Sen metrihinnan arvioitiin olevan kokonaan kansittamatonta järjestelmää 300 € pienempi. Perinteisten synteettistä kylmäainetta käyttävien järjestelmien hinnat määräytyvät suoraan luvussa 4 esitettyjen kustannusten mukaisesti. Energiakustannusten suuruus lasketaan toteutuneen vuosittaisen kulutuksen tai parhaan

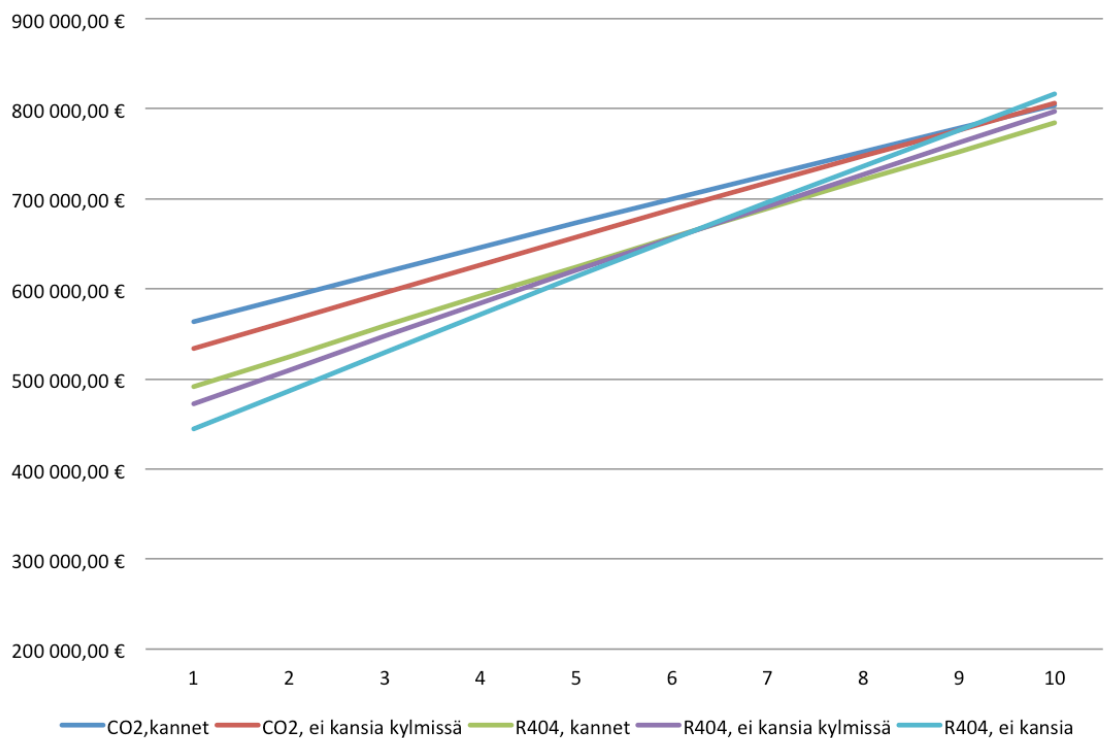
mahdollisen arvion mukaan, mikäli täydeltä vuodelta ei ole saatavissa mittaustietoja. Mitattujen tietojen perusteella perinteisten järjestelmien energiankulutus ei juurikaan häviä hiilidioksidi-järjestelmille. Poikkeuksena esiintyy liikennemyymälän kylmäjärjestelmä, jossa hiilidioksidi-järjestelmät tulevat laskujen perusteella kannattavaksi jo 5. käyttövuoden kohdalla. Parhaan tietokannan omaavassa supermarkettien ryhmässä kalusteiden kansien vaikutus energiankulutukseen ei ole niin suuri, että hiilidioksidi-järjestelmä tulisi millään toteutuksella elinkaarikustannuksiltaan kannattavammaksi ensimmäisen 10 vuoden aikana. Energiakustannuksiltaan keskimäinen vaihtoehto eli kokonaan kansitettu perinteinen kylmäjärjestelmä on käytettävissä olevien lähtötietojen perusteella kaikissa market-kiinteistöissä kannattavin vaihtoehto kylmäjärjestelmille tyypillisen 10 vuoden elinkaaren aikana. Supermarketeissa esimerkkinä käytetyllä sähkönhinnalla 0,1 €/kWh ja 2 % eskalaatiolla kokonaan kansitettu järjestelmä tulee kannattavimmaksi 6 vuoden aikana. Kokonaan kansitetun hiilidioksidi-järjestelmän muita pienemmät energiakustannukset muuttavat sen kannattavimmaksi vaihtoehdoksi 12 vuoden jälkeen. Kuvissa 6.6 – 6.8 esitellään eskalaation vaikutusta kustannusrakenteeseen ensimmäisen 10 vuoden ajalta. Skenaarioissa käytetään eskalaation arvoja 0 %, 2 % ja 4 %.



**Kuva 6.6.** Supermarketin kylmäjärjestelmän kustannusvertailu 0 % eskalaatiolla.



**Kuva 6.7.** Supermarketin kylmäjärjestelmän kustannusvertailu 2 % eskalaatiolla.



**Kuva 6.8.** Supermarketin kylmäjärjestelmän kustannusvertailu 4 % eskalaatiolla.

Erot skenaarioiden välillä ovat suhteellisen pieniä, koska muuttuvana tekijänä on ainoastaan sähkönhinnan muutos suhteessa vallitsevaan inflaatioon. Kuvaajien käyrien kaareutuminen johtuu eskalaation kasvamisen aiheuttamasta energiakustannusten koron

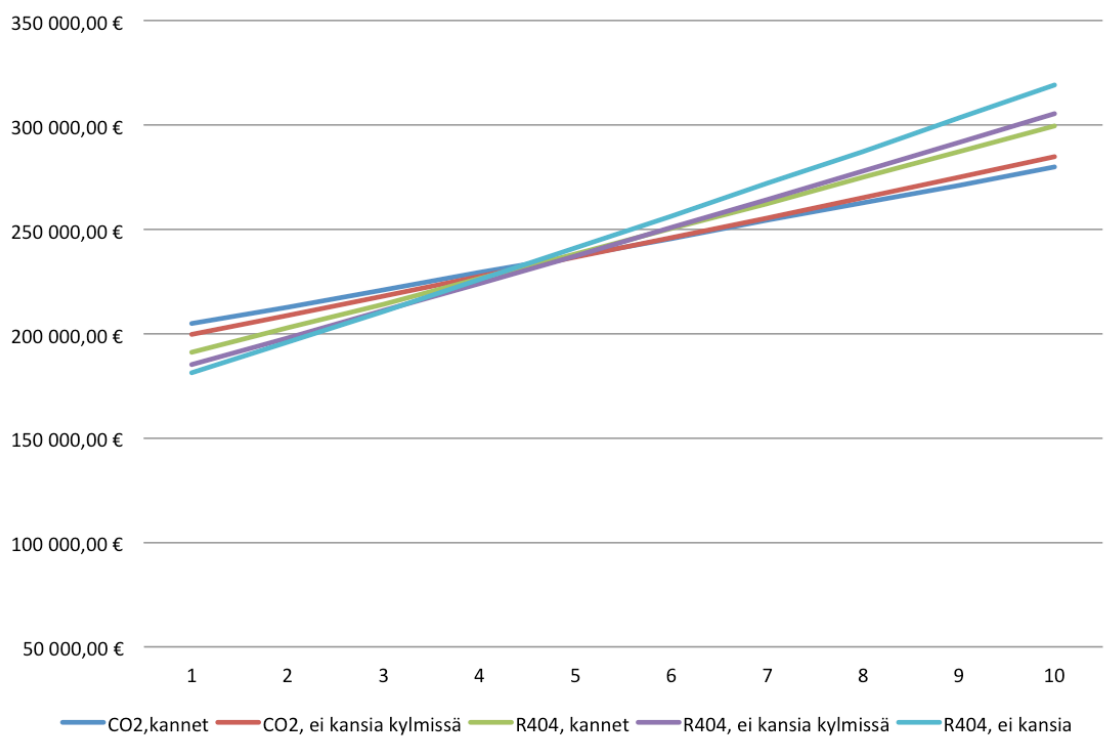


muutoksesta, joka yhtälön 3.7 mukaisesti pienenee eskalaation kasvaessa. Näin ollen reaaliaikaiset erot energiakuluissa pienenevät. Esimerkkinä toimivalle supermarketille eri skenaarioiden nykyarvot 10 vuoden pitoajalla esitetään taulukossa 6.1.

**Taulukko 6.1.** Kylmäjärjestelmien nykyarvot eri eskalaation arvoilla.

|                                       | 0 %       | 2 %       | 4 %       |
|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| CO <sub>2</sub> kannet                | 775 000 € | 802 000 € | 832 000 € |
| CO <sub>2</sub> kannet<br>pakasteissa | 773 000 € | 804 000 € | 838 000 € |
| R404 kannet                           | 749 000 € | 782 000 € | 818 000 € |
| R404 kannet<br>pakasteissa            | 759 000 € | 795 000 € | 835 000 € |
| R404 ei kansia                        | 771 000 € | 813 000 € | 860 000 € |

Taulukosta 6.1 nähdään voimakkaimmallakin energianhinnan kasvulla hiilidioksidi-järjestelmien kannattamattomuus kyseisen kiinteistöryhmän kohdalla. Kuvassa 6.9 esitetään liikenneaseman kylmäjärjestelmien kustannusvertailu.



**Kuva 6.9.** Kylmäjärjestelmien kustannusvertailu liikenneasema kiinteistössä 2 % eskalaatiolla.

Kuvasta 6.9 on havaittavissa selkeä ero supermarketin vastaavaan kuvaan 6.7, jossa hiilidioksidi-järjestelmät eivät tule kannattavaksi tyypillisen elinkaarensa aikana. On

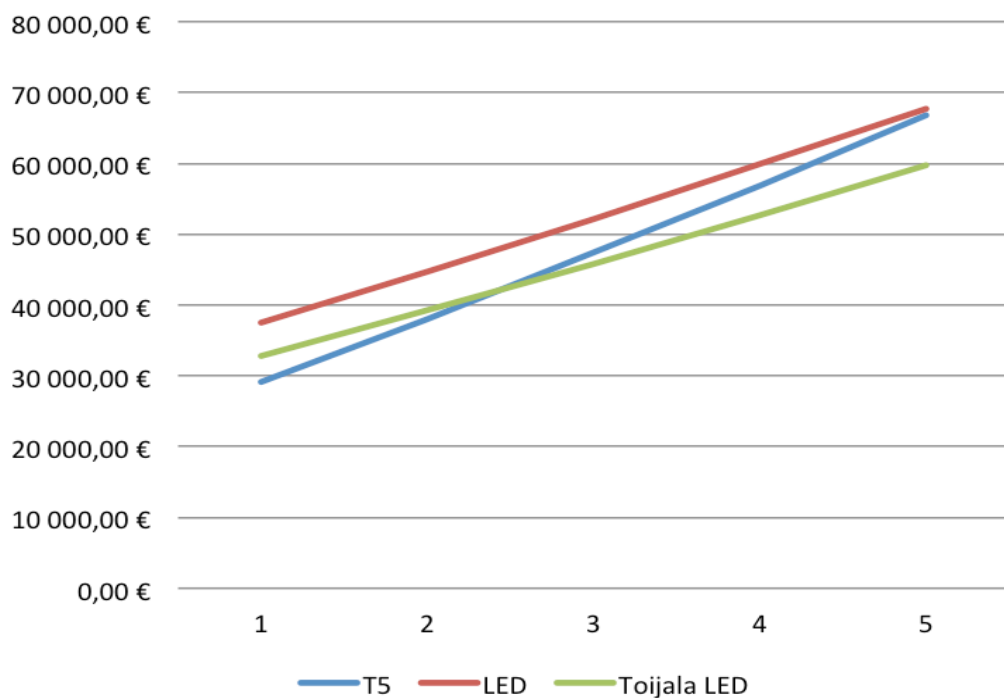
tosin muistettava, että liikenneasemien otanta laskentaa varten on pienempi ja siten epävarmempi. Suurin ero liikenneasemien ja supermarkettien kylmäjärjestelmissä on kylmäsäilytyshuoneiden suhde kalustemetreihin, joka on liikenneasemalla huomattavasti suurempi. Ottaen huomioon, että liikenneasemien kylmähuoneiden keskimääräinen kustannus (€/m<sup>3</sup>) on suurempi kuin supermarketissa, on energiakuluissa oltava huomattava ero hiilidioksidi-järjestelmien eduksi. Syytä voidaan mahdollisesti selittää erilaisilla aukioloajoilla, jolloin monesti myös yöaikaan avoinna olevilla liikenneasemilla kannellisten ja kannettomien järjestelmien erot energiankulutuksessa kasvavat. Liikenneaseman tiedoista voidaan laskennan perusteella arvioida hiilidioksidi-järjestelmän olevan kannattavampi mitä enemmän kiinteistössä on kylmähuoneita suhteessa kalustemetreihin. Tämä tosin on hyvin varauksellinen arvio, koska tutkimuksen otos on pieni ja kiinteistöjen ominaisuudet aiheuttavat mittauksiin poikkeavuuksia.

Kylmäjärjestelmien laskenta on yksinkertainen kahden muuttuvan tekijän, investointikustannus ja energiakustannus, kokonaisuus, jossa kuitenkin on todellisuudessa huomattava määrä järjestelmän valintaan vaikuttavia muuttujia. Mittaustuloksia on saatavissa laajalti varsinkin supermarketista, mutta kulutusmittausten virhetilanteet aiheuttavat laskentaan epävarmuutta. Epätarkkuutta tuo myös kylmäkoneikkojen todellinen hinnan määräytyminen, joka ei mene niin suoraviivaisesti metrimäärän mukaan kuin laskennassa on oletettu. Epävarmuutta aiheuttaa myös koneikkojen mitoitus, jotka nykyisin ovat tyypillisesti ylimitoitettuja, jolloin myös niiden investointikustannus on korkeampi kuin mitä se voisi ideaalitulanteessa olla. Kylmäkalusteiden kansituksella voi olla suurikin vaikutus sekä myymälän viihtyvyyteen että asiakastyytyvyyteen. Yksinkertainen elinkaarilaskenta ei ota huomioon käytännön hyötyjä tai haittoja eri järjestelmävariaatioiden kohdalla. Kansitetun järjestelmän käytännön hyötyjä ovat esimerkiksi elintarvikkeiden parempi säilyvyys tasaisemman lämpötilan takia sekä vähäisempi puhdistuksen tarve, joka tulee sekä jäätymisestä että kalusteisiin päätyvästä liasta. Varsinkin ilmalämmitteisissä kohteissa kylmäkalusteiden kansituksella on vaikutusta tilan lämmitykseen ja jäähdytykseen. Ovituksen yhteydessä kalusteiden tilaa jäähdyttävä ominaisuus poistuu, joten voi muodostua tarve ilman kuivaamiselle. Joissakin kohteissa avoimet kylmäkalusteet aiheuttavat kaupan sisäilman lämpötilaan huomattavan suuria vaihteluita eri vuodenaikoina ja varsinkin kesällä elintarvike puolella lämpötila voi laskea jopa epämiellyttävälle tasolle. [27]

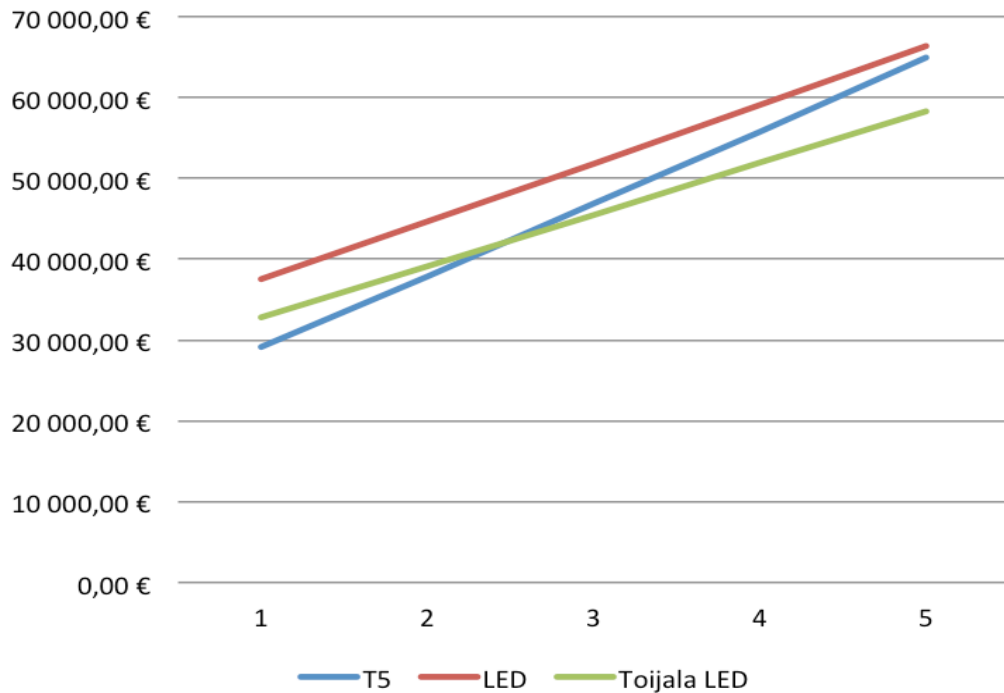
## 6.5 Valaistus

Valaistuslaskenta suoritetaan sekä täysin teoriapohjaisena että toteutuneeseen hankkeeseen pohjautuen. Valaistuksen uusimistilanteessa LED-valoputket asennetaan vanhoihin asennustelineisiin, joten valaisinten lukumäärä on sama kuin ennen uudistusta. Teoreettisen laskennan pohjana käytettävä valovirran määrä vaihtelee LED-valaisinten ja T5-loisteputkivalaisinten välillä, joten luvussa 4 esitetyn yhtälön 4.1

mukaisesti valaisinten lukumäärät poikkeavat hieman toisistaan. Lukumäärät voidaan pakottaa samaksi, jolloin laskenta vastaa tilannetta, jossa perinteinen valaistus muutetaan LED-valaistukseksi. Toteutetun valaistus-uudistuksen tietojen perusteella uudistus on käytännössä jopa teoreettisia laskelmia kannattavampi. Samalla valaisin lukumäärällä LED-valaisinten sähkönkulutus on noin 30 % alhaisempi kuin T5-valaisinten. Asettamalla kappalemäärät vastaamaan toteutuneen hankkeen lukemia, tulee LED-valaistus perinteistä T5-valaistusta kannattavammaksi neljännen vuoden kohdalla ja kaavan 4.1 määrittämän kappalemäärän mukainen LED-valaistus kuudennen vuoden aikana. Sähköenergian-hinnanmuutos korkeammaksi aikaistaa vähemmän energiaa kuluttavien LED-valaisinten kannattavuutta suhteessa perinteiseen valaistukseen. Tämä on nähtävissä kuvissa 6.10 ja 6.11, joissa esitetään valaistusjärjestelmän kustannusten kertyminen ensimmäisen 5 vuoden ajalta.



**Kuva 6.10.** Valaistuksen kustannusvertailu eskalaatiolla 0 %.



**Kuva 6.11.** Valaistuksen kustannusvertailu eskalaatiolla 2 %.

Eskalaation muutoksella ei ole valaistuksen kohdalla selkeästi havaittavaa muutosta, koska energiakulut ovat suhteellisen pienet niiden vaihdellessa eri järjestelmien välillä 6200 € ja 8700 € välillä. 10 vuoden mittaiselle elinkaarelle valaistusjärjestelmien nykyarvokustannuksiksi saadaan 0 % ja 2 % eskalaatiolla

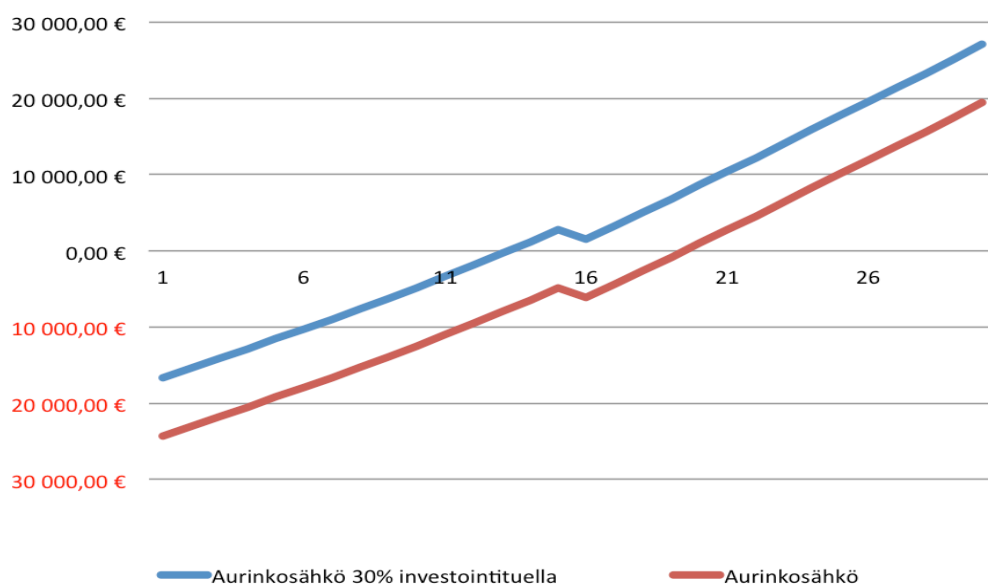
- T5 100 000 € ja 108 000 €
- LED 91 000 € ja 97 000 €
- Toijala LED 80 000 € ja 86 000 €.

T5-valaistuksen 20 000 tunnin oletettu käyttöaika täyttyy viiden vuoden jälkeen, joten nykyarvolaskennassa on huomioitava lamppujen uusinta. Lamppujen vaihto ilman työkustannuksia maksaa esimerkkikiinteistöön 5000 € ja se on huomioitu edellä esitetyissä laskuissa. Kuvaajista 6.10 ja 6.11 sekä edellä esitetyistä laskuista on havaittavissa LED-valaistuksen kannattavuus jo varsin lyhyellä pitoajalla.

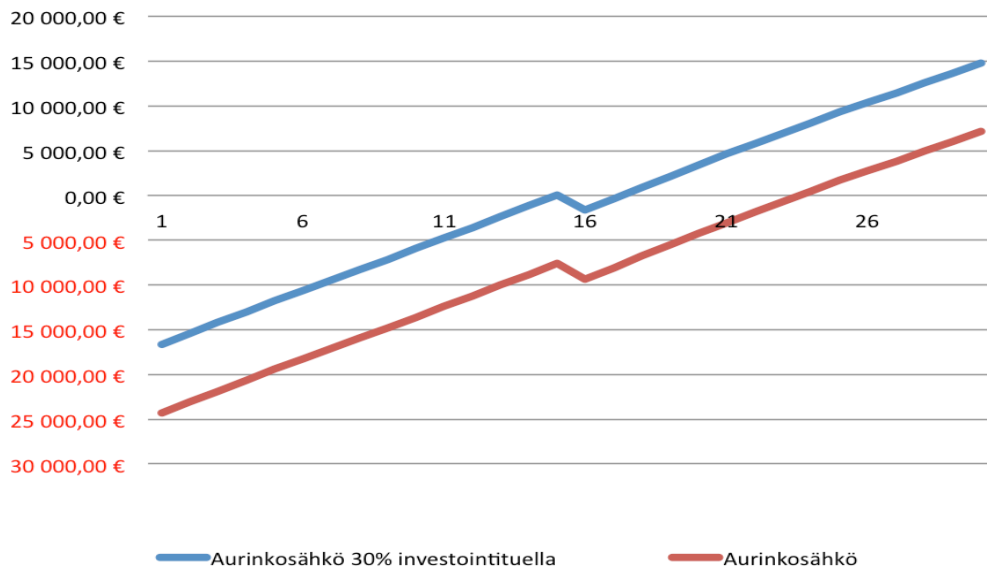
## 6.6 Aurinkosähkö

Aurinkosähköjärjestelmän laskenta tapahtuu vertaamalla samaisen järjestelmän kustannusrakennetta ilman uusiutuville energiamuodoille saatavaa 30 % investointitukea sekä investointituellista hankintatapaa. Laskenta osoittaa aurinkosähköjärjestelmän käytännössä kannattamattomaksi ilman investointitukea. Nykyisellä sähköenergianhinnalla (8 snt/kWh) ja energiakustannusten 1 % vuotuisella nousulla

investointituellinen järjestelmä maksaa itsensä takaisin 21 vuoden kohdalla ja tukematon järjestelmä 30 vuoden aikana. Sähkönhinnan kehitys vaikuttaa oleellisesti aurinkosähkön kannattavuuteen ja hinnan ollessa investointihetkellä 10 snt/kWh takaisinmaksuaika lyhenee 17 vuoteen. Laskuri mahdollistaa myös verkkoon syötettävästä sähköstä maksettavan sähköveron ja huoltovarmuusmaksun syötön, mikäli yli 50 kVA suuruisten verkkoon kytkettyjen järjestelmien kannattavuutta halutaan tarkastella. Vero ja huoltovarmuusmaksu ovat yhteissummaltaan 1,903 senttiä tuotettua kilowattituntia kohti (snt/kWh). Kuvissa 6.12 ja 6.13 esitetään aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta eskalaation arvoilla 0 % ja 2 %.



**Kuva 6.12.** Aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenne eskalaatiolla 0 %.



**Kuva 6.13.** Aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenne eskalaatiolla 2 %.

Kustannusrakenne muodostuu samanmuotoiseksi järjestelmän koosta riippumatta, mutta esimerkkinä käytetyllä 15 kW tehoisella järjestelmällä investoinnin nykyarvoksi 30 vuoden pitoajalla investointituen kanssa 0 % ja 2 % eskalaatiolla saadaan 5800 € ja 13000 €. Järjestelmäkoon kasvaessa tuotetun sähkön määrä kasvaa ja näin ostettavaa sähköä säästyy enemmän eli tulevaisuudessa saavutettavat säästöt ovat suuremmat.

Aurinkosähkön hankintaa ei edelleenkään Suomessa ole tehty houkuttelevaksi eikä nykyisillä kustannuksilla tuotanto ole riittävää, jotta investointi olisi kannattava. Market- ja liikenneasemakiinteistöt kuitenkin mahdollistaisivat aurinkosähkön kokonaisvaltaisen hyödyntämisen niin asennuspuitteiden kuin sähkönkulutus ja –tuotantomallien mukaan. Ympäristöministeriön asetus energia- tehokkuudesta ohjaa lähes kaikkia uusia rakennuksia kohti nollaenergiarakentamista, joka on EU:n tavoite vuodelle 2020. Aurinkosähköjärjestelmän avulla kiinteistön ostosähkön määrää voidaan pienentää ja polttoaineen ollessa ”ilmaista” tuo kaikki tuotettu sähkö säästää. Aurinkosähkön käyttö myös tukee EU:n yleisiä tavoitteita uusiutuvan energian käytön lisäämisestä. [28]

## 7 YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli tehdä investointien suunnittelusta käytännönläheisempää ja helpommin lähestyttävää, niin ettei erilaisten järjestelmien asiantuntija- tasoinen tietämys ole välttämätöntä. Toisena tarkoituksena oli luoda elinkaarilaskuri, jonka avulla voi helposti vertailla investointien kannattavuuteen vaikuttavien tekijöiden vaikutuksia elinkaaren aikaisiin kustannuksiin.

Laskennassa mallinnettiin S-ryhmän jokaiselle eri kiinteistöryhmälle laskentataulukko, joissa on luotu kullekin kiinteistölle tyypillinen malli ja sen mukaiset lähtöarvot. Kiinteistöryhmiä on neljä: hypermarket, supermarket, lähikauppa ja liikenneasema. Kukin kiinteistötyyppi poikkeaa toisistaan toiminnoiltaan ja ominaisuuksiltaan. Laskennassa huomioitiin kullekin kiinteistöryhmälle tyypilliset arvot lämmitysmuodon, lämmönjaon, ilmanvaihdon sekä kylmäjärjestelmien suhteen. Lisäksi käsiteltiin erillisinä järjestelminä valaistusta sekä aurinkosähköä. Eri järjestelmien mahdollisia toteutustapoja valittiin järkeväksi katsottu määrä, kuten esimerkiksi lämmitysmuotojen vertailuun valittiin keskenään kilpaileviksi lämmitysmuodoiksi maalämpö, kaukolämpö ja sähkölämmitys. Kaukolämpöä ja sähkölämmitystä käytetään suurimmassa osassa kiinteistöjä ja maalämpö otettiin mukaan kilpailevaksi lämmitysmuodoksi.

Laskennan pohjatietoina pyrittiin käyttämään toteutuneita investointikustannuksia sekä kulutustietoja niin sähkön kuin lämpöenergian osalta. Jokaiselle kiinteistöryhmälle ei ollut saatavissa aukottomia mittaus- eikä kustannustietoja, joten niissä tapauksissa jouduttiin käyttämään verrokkitietoja muiden kiinteistöryhmien vastaavista saatavilla olevista tiedoista. Tämä osaltaan tuo laskentaan epävarmuutta. Lisäksi epävarmuutta syntyy kiinteistöjen poikkeavista mittaroinneista sekä mittausvirheistä. Kattavimmin tietoa oli saatavilla supermarkettien osalta, jossa erilaisille järjestelmävaihtoehdoille oli saatavilla lähes poikkeuksetta energiamittaus- sekä kustannustiedot vähintään kahdelle toisistaan vastaavalle kiinteistölle.

Maalämpö on erinomaista uusiutuvaa energiaa ja oikein mitoitettuna se on energiatehokas tapa tuottaa lämpöä suuriin liiketiloihin. Maalämpöä käytetäänkin nykyisin yhdessä kaukolämmön kanssa varsinkin liikenneasemissa ja hypermarketeissa, koska maksimi lämpötehon tarpeeseen mitoitettu maalämpöjärjestelmä ei ole kannattava vaihtoehto. Maalämpöjärjestelmän energiakustannukset ovat muihin päälämmitysmuotoihin verrattuna noin kolmanneksen, mutta maalämmön kannattavuutta heikentää sen suuret investointikustannukset. Vaikka sähkölämmitystä on pyritty joissain tapauksissa jopa välttämään päälämmitysmuotona, voidaan laskennan perusteella sanoa halvan sähköenergian yhdistettynä investointikustannuksiltaan pieneen ilmanvaihdolliseen lämmitykseen olevan tällä hetkellä varsin kilpailukykyinen vaihtoehto.

Vertailtaviksi lämmönjakotavoiksi valittiin toteutuneiden kohteiden mukaiset lattialämmitys kaukolämmön sekä maalämmön yhteydessä ja ilmalämmitys kaukolämmön sekä sähkölämmityksen yhteydessä. Investointikustannuksiltaan edullisin sähkö-ilmalämmitys on nykyisillä energianhinnoilla halvin vaihtoehto, mutta hieman kaukolämmitteistä lattialämpökohdetta suurempien energiakustannusten takia se ei tule elinkaaren aikaisilta kustannuksiltaan edullisimmaksi. Kaikista pienimmät energiakustannukset omaava maalämpöjärjestelmä saavuttaa muut vaihtoehdot vasta 15. käyttövuoden aikana tai sen jälkeen. Tämä johtuu maalämmön suurista investointikustannuksista. Sekä lämmitysmuotojen että lämmönjakotapojen vertailuun epävarmuutta tuo erityisesti kustannusten kohdistaminen juuri haluttuihin kohteisiin. Kustannusvertailu perustuu putki- ja ilmanvaihtourakoiden suuruuteen, joten niihin sisältyy mahdollisesti myös muihin kiinteistön osiin kohdistuvia kustannuksia. Lisäkustannuksina huomioitiin maalämpökaivojen porauskustannukset sekä eri lämmitysmuotojen liittymäkustannukset.

Ilmanvaihtoa käsiteltiin osana lämmönjakoa, mutta tässä työssä sitä käsiteltiin myös sen mitoitusperusteiden muuttamisen pohjalta. Kiinteistöjen ilmavirta mitoitetaan D2- rakennusmääräyskokoelman mukaisesti pinta-ala perusteisesti, jolloin ilmavirroista ja ilmanvaihtokoneista tulee lähes poikkeuksetta ylisuuria. Henkilömäärään perustuva ilmanvaihdon mitoittaminen pienentää laskennallisia ilmavirtoja sekä ilmanvaihtokoneita huomattavasti, mutta puhallintekniikan perussääntöjen mukaisesti energiakulut voivat olla erilaisilla koneilla hyvinkin lähellä toisiaan. Pienempien ilmanvaihtokoneiden investointikustannukset ovat alhaisemmat, mutta mitoittustavan muuttamisesta ei ole käytännön kokemusta eikä näin ollen voida olla varmoja ilmamäärien todellisesta riittävyydestä ja siten pienempien koneiden kannattavuudesta.

Kylmäjärjestelmä on kaupankiinteistöjen yksi suurimmista yksittäisistä investoinneista ja lisäksi se on suurin yksittäinen sähköenergian kuluttaja. Kylmäjärjestelmien vertailulaskenta perustuu ainoastaan tietyn tyyppisten järjestelmien kulutus- sekä kustannustietoihin. Tämä tekee laskennasta yksinkertaista, mutta samalla joudutaan karsimaan pois mahdollisia laskentaan vaikuttavia yksityiskohtaisempia tekijöitä, kuten esimerkiksi kalusteiden kansien vaikutus kaupan sisäilman lämpötilaan ja sitä kautta lämmityskuluihin. Yksinkertaisen laskennan perusteella nähdään perinteisen kylmäjärjestelmän olevan kokonaan kansitettuna kannattavin vaihtoehto lähes jokaisessa kiinteistöryhmässä. Poikkeuksen tekee liikenneasema, jossa hiilidioksidia kylmäaineena käyttävä kokonaan kansitettu vaihtoehto tulee 10 vuoden mittaisella elinkaarella tarkasteltuna kannattavimmaksi. Poikkeavuudet eri kiinteistöryhmien tilasuunnittelussa sekä ovat käytännössä niin suuria, ettei supermarketien kattavampaa laskentaa voi täysin varauksettomasti hyödyntää muiden kiinteistöryhmien kohdalla. Myös mittauksen mahdolliset virhetilanteet ja lähtötiedoiltaan puutteellisille järjestelmille tehty kulutus- sekä kustannusarviot heikentävät tulosten hyödynnettävyyttä. Supermarketien osalta laskentaan saatiin



kattavin otanta erilaisia kylmäjärjestelmiä, joten niiden elinkaarilaskentaa voidaan pitää luotettavimpana.

Valaistusjärjestelmien vertailu suoritettiin yhdistämällä teoreettista laskentaa käytännössä toteutettuun valaisinjärjestelmän uudistukseen. Sekä toteutuneen kohteen tietojen perusteella, että teoreettista laskentaa käyttäen havaitaan LED-valaistuksen tulevan perinteistä T5-loisteputkivalaistusta kannattavammaksi vaihtoehdoksi jo muutaman vuoden mittaisella käyttöjaksolla.

Aurinkosähköjärjestelmään investoiminen ei absoluuttisesti ole kannattavaa. Aurinkosähkön muiksi eduiksi voidaan kuitenkin huomioda merkki ekologisesta toiminnasta sekä saavutettava mainosarvo. On myös hyvä muistaa, että kaikki aurinkosähköllä tuotettu energia on käytännössä ilmaista ja varsinkin sähkön hinnan todennäköisesti noustessa järjestelmä tulee koko ajan kannattavammaksi.

Yksinkertaistettu laskenta mahdollistaa käyttäjälle helpon tavan vertailla elinkaarikustannuksia, mutta toisistaan eriteltyjen järjestelmien ja kustannusten yhdistäminen todellisuutta vastaavaksi vaatii järjestelmien ja kustannusten muodostumisen syvempää tuntemusta. Laskentamalli vaatii käytettyjen lähtöarvojen ja järjestelmistä käytössä olevien tietojen yksinkertaistamista, joka tuo laskentaan epätarkkuutta ja epävarmuutta. Työn tulokset sinällään vastaavat tavoitteita, jonka mukaan tarkoituksena oli luoda yksinkertainen laskuri elinkaarikustannusten vertailuun, mutta tästä ei kuitenkaan suoraan voida sanoa kuinka hyvin tulokset hyödyntävät ja palvelevat niiden tilaajaa. Kuitenkin voidaan sanoa, että tulokset ovat hyvin käytettävissä ja ne kuvaavat niille asetettuja tavoitteita. Laskennan toteutuksen eteen tehty selvitystyö kustannusseurannan sekä energian kulutusseurannan ympärillä valaisee osaltaan arkistoinnin ja eri mittauksien poikkeuksia sekä haasteellisuutta. Toisaalta selvitystyön ansiosta voidaan kyseenalaistaa tiettyjä investointeja, joiden todellisista kustannuksista ei ole ollut tutkittua tietoa.

## LÄHTEET

1. Motiva – kylmätekniikan energia-analyysi 2010. WWW. Viitattu 19.10.2014.  
Saatavissa: [http://www.motiva.fi/yritykset/hallitse\\_ja\\_tehosta\\_yrityksen\\_energian kayttoa/nykytilan\\_selvitys/nykytilan\\_selvitys\\_menetelmia/kylmaa\\_tehokkaasti\\_analyysi](http://www.motiva.fi/yritykset/hallitse_ja_tehosta_yrityksen_energian kayttoa/nykytilan_selvitys/nykytilan_selvitys_menetelmia/kylmaa_tehokkaasti_analyysi)
2. Valtonen, Kimmo. 2013. Elintarvikemyymälän ilmanvaihdon mitoituskäytännön muuttaminen. Projektityö. Helsinki. Helsingin Osuuskauppa Elanto.
3. D2 Suomen Rakentamismääräyskokoelma 2012. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki, ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
4. Haahtela. 2014. Haahtela Real Estate System: Pirkanmaan osuuskauppa. Saatavissa: <http://res.haahtela.fi>
5. VTT tiedotteita 2409, Talotekniikan elinkaarikustannukset 2007. WWW. Viitattu 22.4.2014. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2409.pdf>
6. VTT tiedotteita 2546. WWW. Viitattu 19.11.2014. Saatavissa: <http://www2.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2546.pdf>
7. Neilimo, K., & Uusi-Rauva, E. Johdon laskentatoimi. 6. painos. Helsinki 2005. Edita Prima Oy. 366 s.
8. Energiavirasto. Sähkön hintatilastot 2014. WWW. Viitattu 21.11.2014. Saatavissa: <http://www.energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>
9. Manner, Kaijaleena. 2014. Hiilidioksidikylmälaitoksen ja maalämpöjärjestelmän optimointi liikennemyymäläkiinteistössä. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto.
10. Energiateollisuus. Kaukolämmön hinta. 2014. WWW. Viitattu 21.11.2014. Saatavissa: <http://energia.fi/koti-ja-lammitys/kaukolammitys/kaukolammon-hinta>

11. Peltola, P. Sulonen, T, Löfgren, A. Sähköpostiviestittely 22.10.2014.
12. Energiateollisuus. Sähköliittymän sopimusehdot. 2014. WWW. Viitattu 21.11.2014. Saatavissa: <http://energia.fi/sahkomarkkinat/sahkoverkko/sopimusehdot-ja-liittymismaksut>
13. Motiva, maalämpöpumppu. 2014. WWW. Viitattu 23.11.2014. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/eri\\_lammitys\\_muodot/maalampopumppu](http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitys_muodot/maalampopumppu)
14. Työ- ja elinkeinoministeriö. Energiatuki. 2014. WWW Viitattu 23.11.2014. Saatavissa: [http://www.tem.fi/energia/energiatuki/tuen\\_maara](http://www.tem.fi/energia/energiatuki/tuen_maara)
15. SOK Kiinteistötoiminnot 2014. Sisäistä tietoa SOK:n intranetistä.
16. Systemair ilmanvaihtokoneet. Tarjouslaskenta 5.12.2014.
17. Ensto. Valaistuksen suunnittelu. 2014. WWW. Viitattu 1.12.2014. Saatavissa: <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228463997562/1228465543363/1228465575476.html>
18. Valaistustekniikka. 2012. WWW. Viitattu 1.12.2014. Saatavissa: [http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/13valaistustekniikka.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/13valaistustekniikka.pdf)
19. Takala, Antti. 2014. Uusiutuvan energiankäyttömahdollisuudet liikuntakeskus Pajalahdessa. Diplomityö. Lappeenranta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
20. Aurinkoenergiaa. Suomen suurimmat aurinkovoimalat. 2014. WWW. Viitattu 5.12.2014. Saatavissa: <http://www.aurinkoenergiaa.fi/Info/184/aurinkovoimaa-suomessa>
21. D5 Suomen Rakentamismääräyskokoelma 2012. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Helsinki, Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
22. Pumppu- ja puhallintekniikan perusyhtälöt. 2014. WWW. Viitattu 12.12.2014. Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/Affinity\\_laws](http://en.wikipedia.org/wiki/Affinity_laws)
23. Purso Oy. Valaistus kohdekortti Toijala S-Market. 2014.

24. Philips- valaisimet. Datalehti T5- loisteputkivalaisin. 2014. WWW. Viitattu 27.11.2014. Saatavissa: [http://www.ecat.lighting.philips.fi/l/lamput-ammattivalaistus/loistelamput/tl5-loistelamput/master-tl5-high-efficiency/927927083055\\_eu/](http://www.ecat.lighting.philips.fi/l/lamput-ammattivalaistus/loistelamput/tl5-loistelamput/master-tl5-high-efficiency/927927083055_eu/)
25. Paavola, Minna. 2013. Verkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien potentiaali Tampereella. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto.
26. Laine, Toni. 2014. Hypermarkettien lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien energiatehokkuus. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto.
27. Hakala, P. Combicool. Sulonen, T. Löfgren, A. Sähköpostiviestittely 8.12.2014.
28. Työ- ja elinkeinoministeriö. Kansallinen energia- ja ilmastostrategia 2013.